

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Bezpečnost při návrhu automatizovaných systémů

Safety in the Design of Automated Systems

Student:

Bc. Jan Dziak

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ján Babjak, Ph.D.

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Dziak**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T013 Robotika
Téma: Bezpečnost při návrhu automatizovaných systémů
Safety in the Design of Automated Systems
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Proveďte rešerši dostupných materiálů týkajících se problematiky návrhu robotizovaného technologického pracoviště (RTP) s ohledem na jeho bezpečnost.
- 2) Vytvořte model RTP vhodný pro aplikaci poznatků získaných v rešerši.
- 3) Zvolte vhodné technické prostředky zajišťující požadovanou bezpečnost navrženého RTP.
- 4) Integrujte vybrané technické prostředky do navrženého modelu RTP.

Seznam doporučené odborné literatury:


- 1) Příslušné ČSN/EN normy.
- 2) Bezpečnostní příručky firmy SICK týkající se návrhu bezpečného systému.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ján Babjak, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2019




.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 20.5.2019...



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jan Dziak

Adresa trvalého pobytu autora práce: Vlasty Vlasákové 969/20, Ostrava – Bělský Les,
700 30

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jan Dziak, Bezpečnost při návrhu automatizovaných systémů. Ostrava: Katedra robotiky – 354, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2019. Vedoucí diplomové práce: Ing. Ján Babjak, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá bezpečností robotizovaných technologických i netechnologických pracovišť. V diplomové práci je uveden přehled základních norem pro bezpečnost. Práce vysvětluje možnosti zabezpečení. Poznatky z norem a směrnic o bezpečnosti pracovišť a strojních zařízeních jsou aplikovány na navržené pracoviště. Pro pracoviště je vytvořena analýza rizik. V diplomové práci jsou uvedeny tři metody tvorby analýzy rizik. Následně je vybrána optimální metoda. Na základě zjištěných rizik je pracoviště zabezpečeno.

ANNOTATION OF DIPLOM THESIS

Jan Dziak, Safety in the Design of Automated Systems. Ostrava: Department of robotics – 354, Faculty of mechanical engineering, VŠB – Technical university of Ostrava, 2019. Thesis head: Ing. Ján Babjak, Ph.D.

The thesis deals with the safety of robotized technological and non-technological workplaces. The thesis contains basic safety standards. The thesis explains safety options. The knowledge of standards and guidelines on workplace safety and machinery is applied to the proposed workplace. A risk analysis is created for the workplace. Three methods of risk analysis are presented in the thesis. Subsequently, the optimal method is selected. Based on the identified risks, the workplace is secured.

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	10
Slovník termínů	12
Úvod	14
1 Analýza	15
1.1 Základní směrnice a normy	15
1.2 Povinnosti výrobce	18
1.3 Návrh bezpečného stroje	18
1.4 Bezpečnostní úroveň	21
1.5 Využití programů SISTEMA	26
1.6 Normy pro bezpečnostní prvky	30
1.7 Validace	32
1.8 Vydání prohlášení o shodě	33
1.9 Kolaborativní robotika	35
2 Ochranná zařízení	37
2.1 Požadavky na ochranná zařízení	37
2.2 Oddělovací ochranná zařízení	37
2.3 Optoelektronická ochranná zařízení	40
2.4 Pevná ochranná zařízení	46
2.5 Ochranná zařízení reagující na tlak	46
2.6 Bezpečnost řídicího systému	47
2.7 Ostatní a doplňkové opatření	48
3 Pracoviště	50
3.1 Koncepce pracoviště	50
3.2 Logika pracoviště	55
3.3 Bezpečnost konstrukce pracoviště	56
4 Požadavky	57
4.1 Požadavkový list	57
5 Analýza rizik	58
5.1 Definice analýzy rizik	58
5.2 Analýza rizik polokvantitativní metodou	62

5.3	Provedení analýzy rizik polokvantitativní metodou.....	64
5.4	Rizika dle polokvantitativní metody při údržbě	69
5.5	Analýza rizik dle normy ČSN EN ISO 13849.....	69
5.6	Analýza rizik pomocí programu Safexpert.....	71
5.7	Zhodnocení metod analýzy rizik	75
6	Zabezpečení pracoviště	77
6.1	Bezpečnostní oplocení.....	77
6.2	Zámek dveří.....	80
6.3	Laserový skener.....	81
6.4	Stop tlačítka	84
6.5	Výstražné a upozorňující tabulky	88
6.6	Signalizační zařízení.....	89
6.7	Safemove	90
7	Údržba bezpečnostních prvků a snímačů	92
7.1	Údržba bezpečnostního oplocení a zámku	92
7.2	Údržba laserového snímače	92
7.3	Údržba stop tlačítek.....	92
7.4	Údržba snímačů	92
8	Závěr.....	93
	Seznam použité literatury	95
	Přílohy.....	97

Seznam obrázků

Obr. 1 Přehled základních norem A,B	16
Obr. 2 Přehled základních norem C	17
Obr. 3 Vzorec pro odhad rizika	19
Obr. 4 Nebezpečné zóny prostředí	21
Obr. 5 Diagram pro určení parametru PL [1]	22
Obr. 6 Tabulky pro určení parametru SIL [1]	23
Obr. 7 Graf pro určení hodnoty PL [3]	25
Obr. 8 Tvorba projektu	26
Obr. 9 Tvorba funkce	27
Obr. 10 Performance Level - SISTEMA	28
Obr. 11 Performance Level ze subsystému	28
Obr. 12 Kategorie subsystému	29
Obr. 13 Opatření a vlastnosti subsystému - CCF	29
Obr. 14 Důležité hodnoty programu	30
Obr. 15 Shrnutí postupu vydání prohlášení o shodě	35
Obr. 16 Rozdělení ochranných zařízení	37
Obr. 17 minimální vzdálenost při vniknutí skrz	44
Obr. 18 minimální vzdálenost při vniknutí shora	45
Obr. 19 Koncepce pracoviště	50
Obr. 20 Rozměry pracoviště	51
Obr. 21 Pracovní rozsah robota [5]	53
Obr. 22 Manipulátory pro otevření krabice	55
Obr. 23 Tok materiálu	56
Obr. 24 Graf analýzy rizik	58
Obr. 25 Graf určení Performance Level [1]	70
Obr. 26 Project data Safexpert	71
Obr. 27 Volba nebezpečných zón	72
Obr. 28 Pracovní plocha Safexpert	72
Obr. 29 Popis rizika	73

Obr. 30 Volba typu opatření	73
Obr. 31 Odhad rizika Safexpert	75
Obr. 32 Vyznačení ochranného plotu 200 mm	77
Obr. 33 vyznačení ochranného plotu 500 mm	79
Obr. 34 Rozměry a vzdálenosti oplocení	80
Obr. 35 Dveřní systém Euchner MGB – PN	81
Obr. 36 Bezpečnostní vzdálenost laserového snímače	84
Obr. 37 Stop tlačítko single cabinet	85
Obr. 38 Umístění nouzového/reset tlačítka	86
Obr. 39 Umístění nouzového tlačítka – oplocení	87
Obr. 40 Varování – nebezpečí pořezání břitem	88
Obr. 41 Varování – elektrické zařízení a hašení	89
Obr. 42 Umístění signální věže	90
Obr. 43 Definice Safemove	91

Seznam tabulek

Tab. 1 Posouzení rizika a návrh a bezpečného stroje	18
Tab. 2 Kategorie zastavení.....	20
Tab. 3 Porovnání úrovně parametrů SIL a PL [1]	22
Tab. 4 MTTF _d [3]	23
Tab. 5 Diagnostické krytí [3]	24
Tab. 6 Bezpečná vzdálenost krytů	38
Tab. 7 Výška ochranného krytu - malé riziko [4].....	39
Tab. 8 Výška ochranného krytu – vysoké riziko [4].....	40
Tab. 9 Rozdíly mezi typy 2 a 4	42
Tab. 10 Přiblížení v pravém úhlu.....	43
Tab. 11 Určení výšky ochranného pole b a vzdálenosti C.....	44
Tab. 12 Paralelní přiblížení.....	45
Tab. 13 Přiblížení pod úhlem.....	46
Tab. 14 Parametry ABB IRB 4600 [5]	51
Tab. 15 Parametry kontroleru ABB IRC5 [6].....	52
Tab. 16 Parametry efektoru [7]	53
Tab. 17 Parametry dopravníků.....	54
Tab. 18 Parametry přesuvny	54
Tab. 19 Požadavkový list.....	57
Tab. 20 Pravděpodobnost vzniku P [10].....	62
Tab. 21 Pravděpodobnost následků N – zdraví	62
Tab. 22 Pravděpodobnost následků N - majetek	62
Tab. 23 Názor hodnotitelů H [10].....	63
Tab. 24 Stupně rizika [10]	63
Tab. 25 Pracovní činnosti	64
Tab. 26 Rizika pohybu obsluhy v okolí pracoviště	65
Tab. 27 Rizika při manipulaci obsluhy s krabicemi	65
Tab. 28 Rizika při pohybu krabic po vstupním dopravníku	66
Tab. 29 Rizika při pohybu krabice mezi dopravníky.....	66
Tab. 30 Rizika při otevírání krabice	67

Tab. 31 Rizika při pohybu robota s OM	67
Tab. 32 Rizika při pohybu přepravky po dopravníku	68
Tab. 33 Rizika při pohybu po výstupním dopravníku	69
Tab. 34 Analýza rizik dle normy	70
Tab. 35 Popis typu opatření	74
Tab. 36 Parametry oplocení Haberkorn X-Guard [12]	78
Tab. 37 Parametry Sick S 300 Mini standard [14]	82
Tab. 38 Hodnoty pro bezpečnou vzdálenost laserového skeneru	83
Tab. 39 Význam optických prvků.....	89

Slovník termínů

AOPD (Active Opto – electronic Protective Device) – aktivní opto – elektronické ochranné zařízení

AOPDDR (Active Opto-electronic Protective Device responsive to Diffuse Reflection) – aktivní opto – elektronické ochranné zařízení reagující na difúzní odraz

BOZP – Bezpečnost a Ochrana Zdraví při Práci

CCF (Common Cause Failure) – porucha se společnou příčinou

CE (Communauté Européenne) – Evropské Společenství

ČSN – Česká Statní Norma

DC (Diagnostic Coverage) – diagnostické krytí

EMC (Electromagnetic Compatibility) – elektromagnetická kompatibilita

EN – Evropská Norma

ES – Evropské Společenství

ESPE (Electro – Sensitive Protective Device) – snímací ochranná zařízení

Check list – kontrolní seznam

IP (Ingress Protection) – stupeň krytí

IR (InfraRed) – Infračervený

ISD (Inherently Safe Design measure) – zajištěno konstrukčním řešením

ISO (International Organization for Standardization) – mezinárodní organizace pro normalizaci

MTTF (Mean Time To Failure) – střední doba do poruchy

OI (note in Operating Instruction) – poznámka v návodu k obsluze

OM – Objekt Manipulace

OOPP – Ochranný Oděv a Pracovní Pomůcky

PELV (Protected Extra Low Voltage) – chráněné nízké napětí

PFL (Power and Force Limited) – omezení momentu a síly

PIC (Note on the machinery - PICtogram) – značení na stroji - piktogram

PL (Performance Level) – úroveň vlastností

PLC (Programmable Logic Controller) – programovatelný logický kontrolér

PPE (Personal Protection Equipment) – osobní ochranný prostředek

QMS (Quality Management Systém) – systém řízení kvality

RFID (Radio Frequency Identification) – identifikace radiovou frekvencí

SCP (Safeguarding / Complementary Protective) – doplňkové opatření

SELV (Separated Extra Low Voltage) – oddělené nízké napětí

SIL (Safety Integrity Level) – úroveň bezpečnosti

TS (Technical Specification) – Technická Specifikace

VBPD (Vision – Based Protective Device) – Ochranné zařízení založené na vidění

Úvod

Se stále zvyšující se úrovní automatizace a robotizace, se také zvyšují požadavky na zabezpečení takovýchto pracovišť. Úroveň robotizace snižuje riziko nemoci z povolání z dlouhodobých často se opakujících úkonů, ale naopak se zvyšuje riziko vážného poranění robotem nebo manipulátorem, proto je nutné dbát na bezpečnost těchto pracovišť. Proto je ze zákona povinností výrobce, nebo integrátora navrhnout zařízení, či pracoviště, respektive zajistit bezpečí zdraví pracovníků při jeho provozu. Pro návrh automatizovaných pracovišť platí mnoho norem, kterými je nutné se při návrhu řídit. Normy pro použití v bezpečnosti jsou rozděleny do tří skupin (A, B, C). Návrh bezpečného pracoviště začíná bezpečnou konstrukcí nebo vlastností každého prvku pracoviště. Ať už jsou to ostré, či střížné hrany, kryty strojů, bezpečnostní prvky k zamezení přístupu obsluhy do buňky během automatického běhu zařízení. Bezpečnost se uplatňuje v celé životnosti stroje od výroby, instalace, programování, přes automatický běh stroje a jeho údržbu, až po likvidaci.

U řídicích systémů pro robotické aplikace a bezpečnostní prvky je potřeba zajistit, aby množství poruch bylo co nejnižší. Proto je při návrhu řídicích systémů důležité, z hlediska bezpečnosti, zaměřit se na výpočet hodnoty střední doby do poruchy a hodnoty diagnostického krytí, ze kterých, určíme hodnotu úrovně vlastností.

Velmi důležitou součástí při návrhu stroje nebo automatizovaných pracovišť je analýza a posuzování rizik. Jak již bylo zmíněno bezpečnost potažmo analýza rizik se aplikuje na celou životnost stroje nebo pracoviště. Je potřeba znát detailně technologii pracoviště, jaké zařízení jsou jeho součástí a např. zda se v pracovišti nebo jeho okolí vyskytuje obsluha. Pro analýzu rizik existuje mnoho metod.

Při analýze rizik a návrhu bezpečnostních funkcí řídicích systémů je možné využít počítačových programů. Popis programu pro návrh bezpečnostních funkcí Sistema a programu pro analýzu rizik Safexpert jsou obsaženy v této práci.

Pro zabezpečení pracoviště existuje dnes na trhu mnoho bezpečnostních prvků, ty navrhujeme tak, aby byly co nejvíce snížena rizika a pracoviště bylo tak bezpečné pro obsluhu a aby byla chráněna technologie a periferie pracoviště.

1 Analýza

V první kapitole jsou obsaženy základní směrnice a normy pro návrh strojního zařízení a normy týkající se bezpečnostních prvků robotizovaných pracovišť. Dále je uveden stručný popis návrhu nového zařízení a jeho ovládacího systému vzhledem k normám týkajících se bezpečnosti a podmínkám pro uvedení na trh.

1.1 Základní směrnice a normy

Základní směrnicí pro robotické aplikace je Směrnice o strojních zařízeních 2006/42/ES jejíž cílem je sjednocení požadavků, týkající se bezpečnosti ve všech členských státech Evropské unie. Definuje požadavky na bezpečnost a zdraví při práci. Také definuje, co platí pro strojní zařízení (i neúplná strojní zařízení), soubory strojních zařízení a bezpečnostní komponenty. Neúplným strojním zařízením se rozumí částečně zhotovený stroj, konstrukční skupiny strojů nebo komponenty, které se blíží definici stroje, tvoří jeden celek, ale jako takový nemůže plnit žádnou funkci, proto dle směrnice o strojních zařízeních jej nelze za úplný stroj považovat. Dle této směrnice bylo určeno, že robotické aplikace jsou posuzovány jak soubory strojních zařízení.

Normy pro robotické aplikace jsou řazeny do tří skupin. První skupinou jsou A normy zabývající se základními bezpečnostními požadavky obsahující základní pojmy, zásady projektování a všeobecné aspekty aplikovatelné na všechny stroje. Zde patří norma ČSN EN ISO 12100, která se zabývá posouzením rizika. Druhou skupinou jsou B normy, uváděné jako skupinové a obsahující bezpečnostní aspekt nebo zařízení aplikovatelné pro širokou škálu strojů. Ty se dělí do podskupin B1 a B2. Podskupina B1 se zabývá aspekty bezpečnosti týkající se např. elektrické bezpečnosti stroje nebo výpočet bezpečné vzdálenosti např. ČSN EN ISO 13857. Zatímco B2 norma se zabývá bezpečnostními zařízeními jako je dvouruční ovládání, elektrické snímací zařízení apod. např. norma ČSN EN ISO 13856. Poslední skupinou jsou C normy, které se zabývají bezpečností konkrétních strojních zařízení, jejich typů, či skupinami. Tyto skupiny C norem mají přednost před normami typu A, nebo B i přesto, že se k nim mohou vztahovat. Do této skupiny také patří normy pro roboty a robotická zařízení ČSN EN ISO 10218 – 1/2.

Přehled norem vidíme na následujících obrázcích (Obr. 1, Obr. 2)

Typ	Evropská norma EN	Harmonizována	Mezinárodní norma ISO/IEC	Název, resp. odkaz
A	ČSN EN ISO 12100 nahradila následující normy	✓	ISO 12100	Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika
	ČSN EN ISO 12100-1		ISO 12100-1	Bezpečnost strojních zařízení – Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci • Část 1: Základní terminologie, metodologie
	ČSN EN ISO 12100-2		ISO 12100-2	Bezpečnost strojních zařízení – Základní pojmy, všeobecné zásady pro konstrukci • Část 2: Technické zásady
	ČSN EN ISO 14121-1		ISO 14121-1	Bezpečnost strojních zařízení – Posouzení rizika • Část 1: Zásady
B	ČSN EN 349	✓	ISO 13854	Bezpečnost strojních zařízení. Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla
	ČSN EN 574	✓	ISO 13851	Bezpečnost strojních zařízení – Dvouruční ovládací zařízení – Funkční hlediska – Zásady pro konstrukci
	ČSN EN 953	✓	ISO 14120	Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů (<i>aktuálně se přepracovává a v budoucnu bude vydána jako ČSN EN ISO 14120</i>)
	ČSN EN 1037	✓	ISO 14118	Bezpečnost strojních zařízení – Zamezení neočekávanému spuštění
	ČSN EN 1088	✓		Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu (<i>byla nahrazena normou ČSN EN ISO 14119</i>)
	ČSN EN ISO 13849-1	✓	ISO 13849-1	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů • Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci
	ČSN EN ISO 13849-2	✓	ISO 13849-2	• Část 2: Ověřování
	ČSN EN ISO 13850 (nahradila ČSN EN 418)	✓	ISO 13850	Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci
	ČSN EN ISO 13855 (nahradila ČSN EN 999)	✓	ISO 13855	Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla
	ČSN EN ISO 13857 (nahradila ČSN EN 294 a ČSN EN 811)	✓	ISO 13857	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami
	ČSN EN 60204-1	✓	IEC 60204	Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů • Část 1: Všeobecné požadavky
	ČSN EN 61496-1	✓	IEC 61496-1	Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická snímací ochranná zařízení • Část 1: Všeobecné požadavky a zkoušky
	ČSN CLC/TS 61496-2	–	IEC 61496-2	• Část 2: Zvláštní požadavky na aktivní optoelektronická ochranná zařízení (AOPD)
	ČSN CLC/TS 61496-3	–	IEC 61496-3	• Část 3: Zvláštní požadavky na aktivní optoelektronická ochranná zařízení s rozptylným odrazem (AOPDDR)
	ČSN CLC/TS 62046	–	IEC/TS 62046	Bezpečnost strojních zařízení – Použití ochranného zařízení pro snímání přítomnosti osob
	ČSN EN 62061	✓	IEC 62061	Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností

Obr. 1 Přehled základních norem A,B

Typ	Evropská norma EN	Harmoni- zována	Mezinárodní norma ISO/ IEC	Název, resp. odkaz
C	ČSN EN 1114-1	✓	–	Stroje pro zpracování plastů a pryže – Šnekové vytlačovací stroje a vytlačovací linky • Část 1: Bezpečnostní požadavky na vytlačovací stroje
	ČSN EN 12622	✓	–	Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Hydraulické ohraňovací lisy
	ČSN EN 13736	✓	–	Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Pneumatické lisy
	ČSN EN 1459	✓	–	Bezpečnost manipulačních vozíků – Vozíky s proměnným vyložením a vlastním pohonem
	ČSN EN 1525	–	–	Bezpečnost motorových vozíků – Vozíky bez řidiče a jejich systémy
	ČSN EN 1526	✓	–	Bezpečnost motorových vozíků – Další požadavky na automatické funkce vozíků
	ČSN EN 1612-1	✓	–	Stroje pro zpracování pryže a plastů – Reakční tvářecí stroje • Část 1: Bezpečnostní požadavky na dávkovací a míchací jednotky
	ČSN EN 1672-1	–	–	Potravinářské stroje – Bezpečnostní a hygienické požadavky – Všeobecné zásady pro konstrukci
	ČSN EN 201	✓	–	Stroje pro zpracování pryže a plastů – Vstřikovací stroje – Bezpečnostní požadavky
	ČSN EN 289	✓	–	Stroje na zpracování plastů a pryže – Lisovací tvářecí a přetlačovací stroje – Bezpečnostní požadavky
	ČSN EN 415-X	✓*	–	Bezpečnost balících strojů (*: harmonizovány jsou pouze části 1, 3 a 5 až 9 této normy)
	ČSN EN 422	✓	–	Stroje na zpracování pryže a plastů – Bezpečnost – Vyfukovací tvářecí stroje používané na výrobu dutých předmětů – Požadavky na konstrukci a stavbu
	ČSN EN 528	✓	–	Regálové zakladače - Bezpečnostní požadavky
	ČSN EN 692	✓	–	Mechanické lisy - Bezpečnost
	ČSN EN 693	✓	–	Obráběcí a tvářecí stroje - Bezpečnost - Hydraulické lisy
	ČSN EN 710	✓	–	Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní požadavky na slévarenské formovací a jádrovací stroje a zařízení a přidružená zařízení
	ČSN EN 869	✓	–	Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní požadavky pro jednotky na lití kovů pod tlakem
	ČSN EN ISO 1010-X	✓*	ISO 1010-X	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní požadavky na konstrukci a výrobu tiskových strojů a strojů na zpracování papíru (*: harmonizovány jsou části 1 až 4 této normy)
	ČSN EN ISO 10218-1 (nahradila ČSN EN 775)	✓	ISO 10218-1	Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů • Část 1: Roboty
	ČSN EN ISO 10218-2	✓	ISO 10218-2	• Část 2: Systémy robotů a integrace
	ČSN EN ISO 11111-X	✓*	ISO 11111-X	Textilní stroje – Bezpečnostní požadavky (*: harmonizovány jsou části 1 až 7 této normy)

Obr. 2 Přehled základních norem C

Roboty a robotická zařízení jsou řízeny normami ČSN EN ISO 10218 – 1/2. Norma ČSN EN ISO 10218 – 1 definuje jaké požadavky a směrnice je třeba použít k vytvoření bezpečné konstrukce průmyslových robotů. Dále definuje, jaká zvolit ochranná opatření a jaké informace je třeba předat zákazníkovi, aby byl schopen robota bezpečně používat. Tato norma rovněž popisuje základní nebezpečí a rizika, které souvisí s roboty a obsahuje požadavky pro odstranění nebo redukci těchto nebezpečí. I když tato norma je platná pouze pro průmyslové roboty, bezpečnostní principy uvedené v této normě lze použít i pro ostatní typy robotu. Norma ČSN EN ISO 10218 – 2 udává specifikaci bezpečnostních požadavků na integraci průmyslových robotů a průmyslových systémů robotu a průmyslové buňky

robotu tak, jak je definováno v ISO 10218-1. Do integrace zařazujeme konstrukci, výrobu, instalaci, provoz, údržbu a vyřazení z provozu průmyslového systému robotu nebo buňky a nezbytné informace k těmto krokům. Integrace také zahrnuje součásti zařízení průmyslového systému robotu nebo buňky. Podobně jako předchozí norma popisuje nebezpečí a rizika spojené s provozem těchto systémů a uvádí požadavky k jejich eliminaci nebo přiměřené omezení rizik. Nebezpečí vztahující se k procesům jako jsou hluk, odlétající třísky, laserová radiace, kouř při svařování nejsou v normě popsány. Tudiž musí být aplikovány další normy skupin B1 a B2.

1.2 Povinnosti výrobce

Povinností výrobce strojů je konstruovat stroje tak, aby splňovali požadavky směrnice o strojních zařízeních, týkající se bezpečnosti a ochrany osob. Je třeba zohlednit bezpečnostní rizika již při návrhu samotného stroje. Dále je povinností výrobce vytvořit technickou dokumentaci, která by měla obsahovat všechna schémata, výpočty, zkušební protokoly a dokumenty prokazující dodržování požadavků uvedené směrnice z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Tato dokumentace musí být uschována po dobu min. 10 let, a na vyžádání být předložena při oprávněném požadavku národního úřadu v České Republice např. TIČR. Výrobce musí také vytvořit a dodat s novým strojem provozní návod v úředním jazyce země použití, buď jako originální provozní návod nebo jako překlad originálu, ve druhém případě je nutno dodat také originální provozní návod.

1.3 Návrh bezpečného stroje

Správné posouzení rizika a návrh bezpečného stroje nebo zařízení je řízen kroky v následující tabulce (Tab. 1).

Tab. 1 Posouzení rizika a návrh a bezpečného stroje

1.	Posouzení rizika	
2.	Bezpečný návrh	
3.	Technická ochranná opatření	a) Stanovení bezpečnostních funkcí b) Určení potřebné úrovně bezpečnosti c) Návrh bezpečnostní funkce d) Verifikace bezpečnostní funkce e) Validace všech bezpečnostních funkcí
4.	Informace pro uživatele o zbytkových rizicích	
5.	Celková validace	

6.	Uvedení na trh
----	----------------

Posouzení rizika, jak již bylo zmíněno je řízeno normou ČSN EN ISO 12100. Nejdříve je nutné analyzovat možná rizika, poté tam kde je to nutné je navrženo opatření k ochraně obsluhy. Při návrhu opatření nesmí vzniknout nová rizika. Postup je nutné opakovat, tak dlouho dokud nedojde ke snížení rizika na přijatelnou mez. K posouzení rizika je možné využít specializovaných programů, např. SISTEMA. Celý proces začíná určením funkcí stroje jako jsou specifikace stroje, prostorové uspořádání v pracovišti, životnost apod. Je nutné analyzovat také možné chyby v použití stroje např. chybné chování obsluhy nebo ztráta kontroly obsluhy nad strojem. Následně je potřeba identifikovat ohrožení mechanické, elektrické nebo v důsledku hluku, vibrací a záření, ale také při údržbě stroje. Po tomto kroku je nutné provést odhad rizika, který je řízený následujícím základním vzorcem (Obr. 3).

$$\text{Riziko} = \text{Rozsah škod} \times \text{Pravděpodobnost výskytu}$$

Obr. 3 Vzorec pro odhad rizika

Pro odhad rizika slouží např. tabulky, grafy rizik, numerické metody aj. Po odhadnutí rizik se stanoví potřeba aplikace ochranných opatření. Vše je potřeba zadokumentovat. Vytvořená dokumentace by musí obsahovat údaje o stroji, důležité přijaté předpoklady (zátěže, odolnost, bezp. koeficienty), veškerá identifikovaná ohrožení, použité údaje a jejich zdroje, popis aplikovaných opatření, popis cílů snížení rizika, zbytková rizika a všechny dokumenty vytvořené během posouzení rizika.

Při bezpečném návrhu je vhodné se nejdříve zaměřit na mechanickou konstrukci např. vyhnout se ostrým hranám, střížným místům nebo místům pro vtažení nebezpečným pro obsluhu, respektováním ergonomických zásad. Je vhodné se vyhnout také vystavení obsluhy nebezpečným místům, k tomu lze využít automatické nakládací a vykládací stanice, údržbářské práce zvenčí nebo srozumitelným označením ovládacích prvků.

Druhým krokem odstranění nebezpečí vzhledem k elektrické energii, tyto elektrická zařízení strojů jsou řízena normou ČSN EN 60204-1 a ČSN EN 50178. Při připojování stroje do sítě je nutné se řídit nařízeními provozovatele sítě. Ochranná opatření u nízkého napětí jsou řízena mezinárodní normou IEC 60364-4-41, v ČR se užívá harmonizovaná norma ČSN 332000-4. Při údržbových a seřizovacích pracích je nutné navrhnout vypínací zařízení proti

neočekávanému rozběhu, ochránit ovladač proti znovu připojení stroje do sítě. Ochranu před úrazy elektrickým proudem lze rozdělit do ochranných tříd I, II a III nebo dle bezpečného malého napětí SELV a PELV. Dále je zařízení nebo stroj je nutné chránit pře prachem nebo vlhkostí. Stupeň této ochrany vyjadřuje IP kód dle normy ČSN EN 60529. Stejně jako pro provozní zastavení, musí existovat povel nouzového zastavení stroje kategorie 0. Tento povel musí být nadřazen povelům uvedení stroje do chodu. Mohou být vyžadovány dodatečné funkce kategorie 1/2. Návrh opatření je řízen normou ČSN EN ISO 13850. Kategorie zastavení uvádí tabulka níže (Tab. 2)

Tab. 2 Kategorie zastavení

Kategorie zastavení 0	Přívod energie k hnacím prvkům je přerušen (neřízené zastavení stroje)
Kategorie zastavení 1	Stroj je uveden do bezpečného stavu, až poté se přeruší přívod energie ke hnacím prvkům
Kategorie zastavení 2	Stroj je uveden do bezpečného stavu, přívod energie k hnacím prvkům však není přerušen

Stroj nebo zařízení musí být elektromagnetický kompatibilní (EMC), to znamená že je schopen pracovat v elektromagnetickém prostředí, a nevyvolává elektromagnetická rušení. Toto rušení může být vyvoláno např. rázovým napětím, vysokofrekvenčním rušením nebo elektrostatickým výbojem. Zamezit problému s EMC lze prostorovým oddělením od napájecí části, krátké a celoplošné stínění nebo připojením funkčního uzemnění (FE). Pro EMC platí norma ČSN IEC 61000-1 až -4, pro jednotlivé komponenty. Při použití tekutinových systému (pneumatické a hydraulické) je nutné tyto systémy chránit proti tlakům překračující maximální pracovní tlak nebo jmenovitý tlak komponenty, dále před netěsnostmi systému. Pokud je stroj nebo zařízení umístěn ve výbušném prostředí je třeba se řídit směrnicí 2014/34/EU a normami ČSN EN 1127-1, ČSN EN 60079-0. Nejdříve je potřeba definovat zónu do jaké prostředí spadá a poté vybírat nebo navrhovat dle výše zmíněných norem použitelná zařízení. Rozdělení ukazuje obrázek níže (Obr. 4).

Definice zóny				
Pro plyny	G	Zóna 2	Zóna 1	Zóna 0
Pro prach	D	Zóna 22	Zóna 21	Zóna 20
Výbušná atmosféra		zřídka, krátkodobě ($< 10/\text{rok}$)	příležitostně ($10-100 \text{ h/rok}$)	neustále, často, dlouhodobě ($> 1\,000 \text{ h/rok}$)
Bezpečnostní opatření		Normální	Vysoké	Velmi vysoké
Použitelná kategorie přístrojů (ATEX)				
1		II 1G/II 1D		
2		II 2G/II 2D		
3		II 3G/II 3D		

Obr. 4 Nebezpečné zóny prostředí

Dalším krokem je návrh technických ochranných opatření. Nejdříve jsou stanoveny bezpečnostní funkce: trvalé zamezení přístupu, dočasné zamezení přístupu, zadržení dílů, materiálů nebo zařízení, vyvolání zastavení, zamezení spuštění, zamezení neočekávanému rozběhu, rozlišení mezi člověkem a materiálem, monitorování parametrů stroje, ruční a časově omezené zrušení bezpečnostních funkcí, kombinování nebo střídání bezpečnostních funkcí.

Určení potřebné úrovně bezpečnosti je řízeno normami ČSN EN ISO 13849-1 nebo ČSN EN 62061. Postup pro určení úrovně bezpečnosti PL nebo SIL je uveden v následující podkapitole (1.4).

1.4 Bezpečnostní úroveň

V C normách pro jednotlivá zařízení a stroje, zpravidla najdeme bezpečnostní úroveň. Tuto bezpečnostní úroveň je nutné stanovit pro všechny přístroje obsažené strojem např. senzory nebo aktuátory. Pokud C norma pro daný přístroj neexistuje nebo nejsou potřebné informace v normě obsaženy je třeba se řídit následujícími normami ČSN EN ISO 13849 - Bezpečnostní části ovládacího systému, ta využívá k určení požadované bezpečnostní úrovně rizikové grafy a z nich získáme úroveň vlastností – PL nebo použijeme normu ČSN EN 62061 která hovoří o funkční bezpečnosti elektrických, elektronických a programovatelných řídicích systémů souvisejících z bezpečností a k získání bezpečnostní úrovně používá numerický postup ze kterého vyplývá úroveň integrity SIL. Norma ČSN EN ISO 13849 je použitelná na širší rozsah realizace, protože zahrnuje i použití mechanických, pneumatických nebo hydraulických prvků. Pro konstruktéra nebo vývojáře platí zákaz použití obou norem zároveň, vždy si musí vybrat jednu z nich dle použité technologie a tou se řídit. Během životního cyklu stroje se mohou měnit nebezpečná místa a mohou vznikat různá rizika. Proto je nutné zavést bezpečnostní funkce pro všechny fáze životního cyklu stroje.

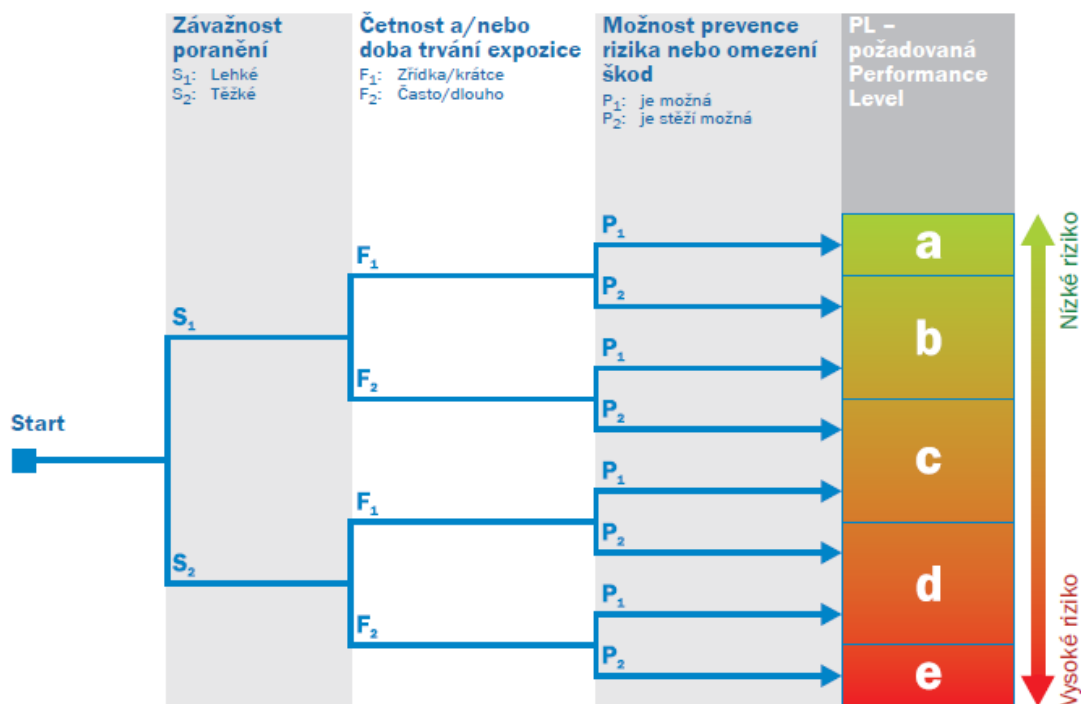
Při posuzování rizik je vhodné držet se následujících parametrů:

1. závažnost možného poranění / poškození zdraví
2. Četnost a doba trvání vystavení riziku
3. Možnost vyvarování se nebezpečí

Kombinací těchto parametrů vzniká bezpečnostní úroveň. Společným znakem mezi hodnotami PL a SIL je úroveň průměrné pravděpodobnosti nebezpečí za 1 hodinu (Tab. 3). Pro určení úrovně vlastností používáme následujícím diagramu (Obr. 5). V grafu jsou použity parametry S pro závažnost poranění, F pro četnost a trvání poruchy a P pro možnost prevence rizika nebo omezení škoda to vždy ve dvou úrovních. Dle těchto parametrů je pro každou bezpečnostní funkci zvolená hodnota PL.

Tab. 3 Porovnání úrovně parametrů SIL a PL [1]

SIL	Průměrná pravděpodobnost výskytu poruchy za hodinu (1/h)	PL
-	$\geq 10^{-5}$ až $<10^{-4}$	a
1	$\geq 3 \times 10^{-6}$ až $<10^{-5}$	b
1	$\geq 10^{-6}$ až $<3 \times 10^{-6}$	c
2	$\geq 10^{-7}$ až $<10^{-6}$	d
3	$\geq 10^{-8}$ až $<10^{-7}$	e



Obr. 5 Diagram pro určení parametru PL [1]

Při použití druhé normy ČSN EN ISO 62061 je definována hodnota SIL ve třech stupních, jak je uvedeno v tabulkách na následujícím obrázku (Obr. 6). Nejdříve je tedy zvolena hodnota rozsahu škod S, poté dle pravděpodobnosti poruchy za hodinu jsou zvoleny hodnoty pro četnost nebezpečné události F, pravděpodobnosti výskytu nebezpečné události W a možnost prevence nebezpečné události P. Hodnoty F, W, P jsou sečteny a tím je vypočtena hodnota třídy K. Průsečíkem řádku „Rozsah škod S“ a sloupce „Třída K“ je dána hodnota SIL. [1]

Účinky	Rozsah škod S	Třída K = F + W + P				
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
Smrt, ztráta oka nebo končetiny	4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
Permanentní škody, ztráta prstů	3			SIL1	SIL2	SIL3
Reversibilní škody, lékařské ošetření	2				SIL1	SIL2
Reversibilní škody, první pomoc	1					SIL1

Četnost ¹⁾ nebezpečné události F		Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události W		Možnost prevence nebezpečné události P	
F ≥ 1× za hodinu	5	Častá	5		
1× za hodinu > F ≥ 1× za den	5	Pravděpodobná	4		
1× za den > F ≥ 1× za 2 týdny	4	Možná	3	Není možná	5
1× za 2 týdny > F ≥ 1× za rok	3	Zřídka	2	Možná	3
1× za rok > F	2	Zanedbatelná	1	Pravděpodobná	1

1) Platí pro délku pobytu > 10 min

Obr. 6 Tabulky pro určení parametru SIL [1]

U elektronických a elektromechanických zařízení je potřeba vypočítat hodnoty MTTF_d - střední doba do nebezpečné poruchy, DC – diagnostické krytí, CCF – poruchy se společnou příčinou. Hodnota MTTF_d musí být zvolená pro každý kanál zařízení a je hodnocena ve třech úrovních dle následující tabulky (Tab. 4). Pokud ji výrobce neuvádí musí být hodnota MTTF_d vypočítána dle vzorců (1.1, 1.2). Hodnotu B10_d, pokud jí neuvádí výrobce, je možné dohledat v tabulkách které jsou součástí normy. Celková hodnota MTTF_d je dána vztahem (1.3).

Tab. 4 MTTF_d [3]

Označení doby každého kanálu	Rozsah doby každého kanálu
Krátká	3 roky ≤ MTTF _d < 10 roků
Střední	10 roků ≤ MTTF _d < 30 roků
Dlouhá	30 roků ≤ MTTF _d < 100 roků

$$MTTF_d = \frac{B10_d}{0,1 * n_{op}} \quad (1.1)$$

$$n_{op} = \frac{d_{op} * h_{op} * 3600s/h}{t_{cyklu}} \quad (1.2)$$

$$\frac{1}{MTTF_d} = \sum_{i=1}^{\bar{N}} \frac{1}{MTTF_d} = \sum_{j=1}^{\bar{N}} \frac{n_j}{MTTF_{dj}} \quad (1.3)$$

Hodnota DC je hodnocena ve 4 úrovních, její hodnotu získáme pomocí analýzy poruch např. FMEA nebo jí najdeme v tabulkách které jsou součástí normy. Hodnotu DC zařadíme do rozmezí v tabulce (Tab. 5). Průměrná hodnota DC se vypočítá dle následujícího vztahu (1.4).

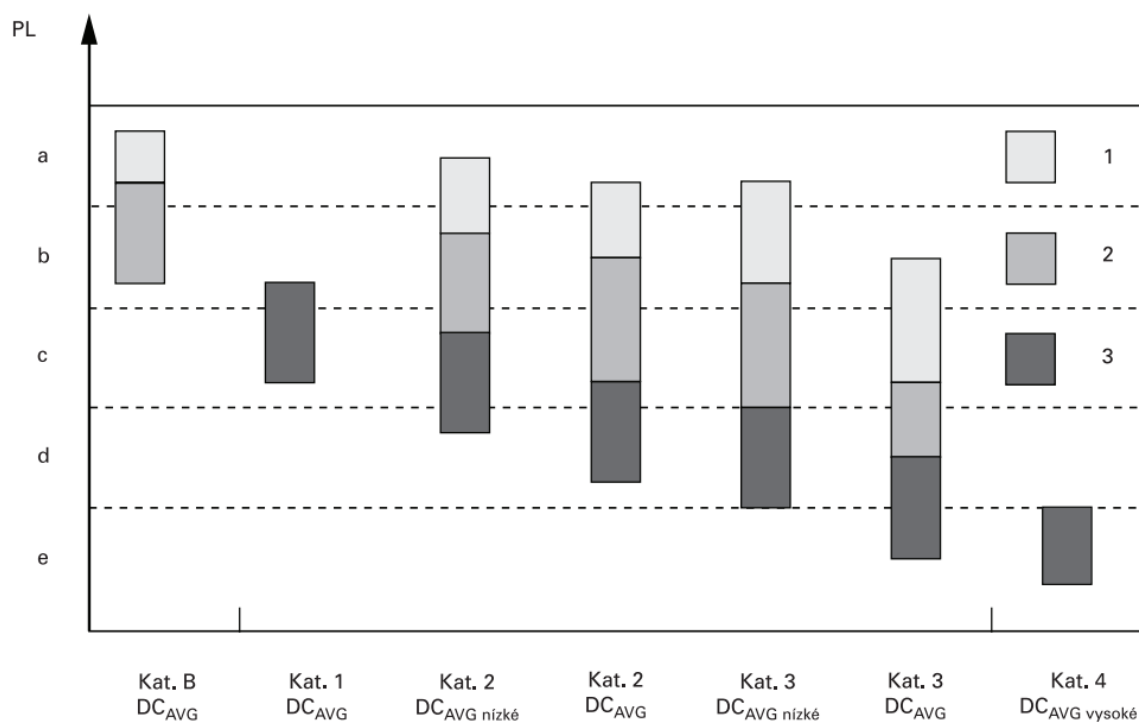
Tab. 5 Diagnostické krytí [3]

Označení diagnostického krytí	Rozsah diagnostického krytí
Žádné	DC < 60%
Nízké	60% ≤ DC < 90%
Střední	90% ≤ DC < 99%
Vysoké	99% ≤ DC

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{d1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{d2}} + \dots + \frac{DC_n}{MTTF_{dn}}}{\frac{1}{MTTF_{d1}} + \frac{1}{MTTF_{d2}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{dn}}} \quad (1.4)$$

Součástí normy ČSN EN ISO 13849-1 je tabulka a opatření CCF s určitým počtem bodů pro odhad poruch se společnou příčinou. Když jsou opatření splněna, jsou do tabulky zapsány body, které musí dát celkový součet vyšší než 65.

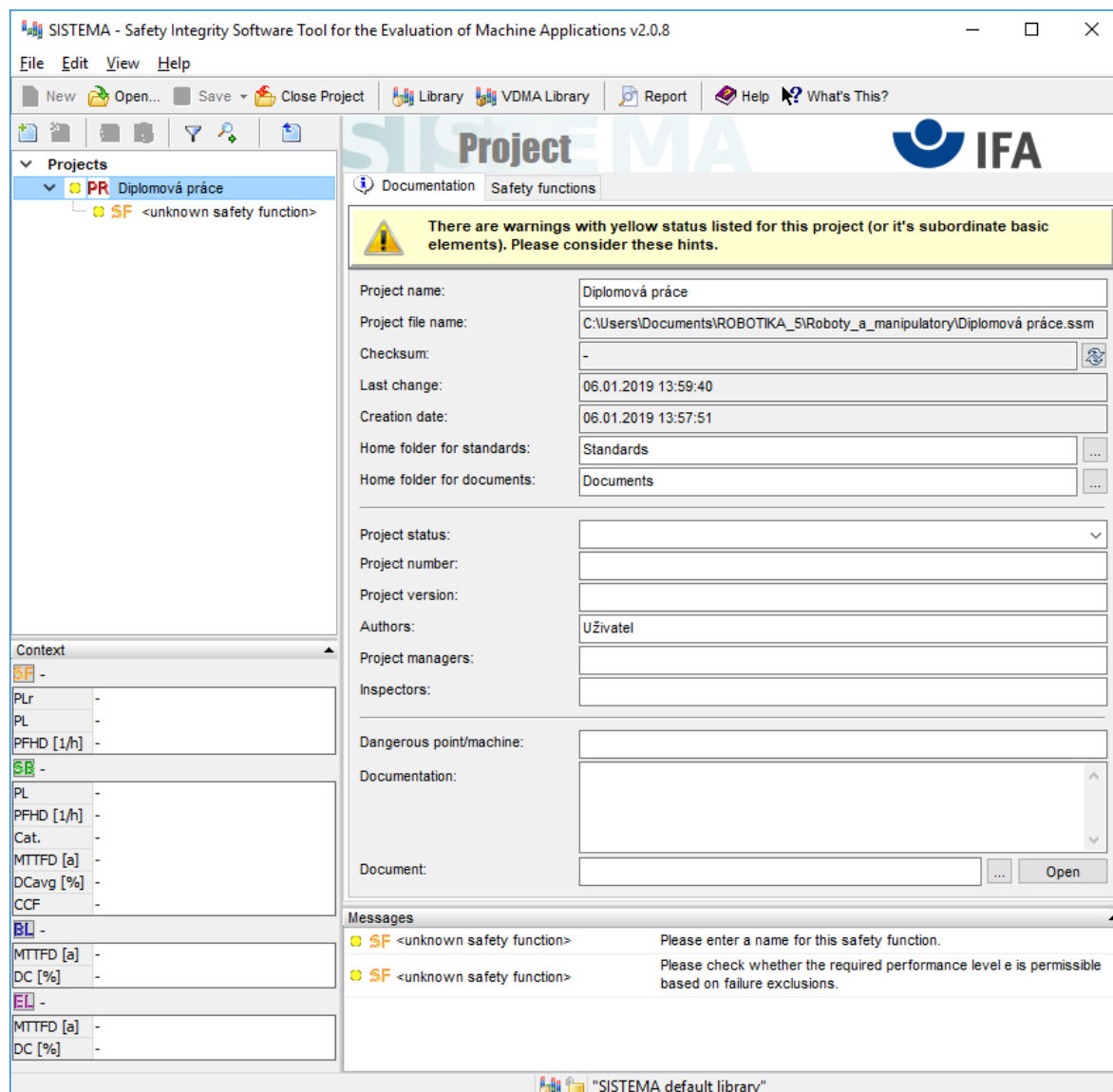
Poté se výsledky jednotlivých výpočtů dosazují do následujícího grafu (Obr. 7), ze kterého zjistíme maximální úroveň vlastností PL systému. Hodnota 1 v grafu odpovídá hodnotě PL pro MTTF_d každého prvku = krátká, hodnota 2 odpovídá MTTF_d každého prvku = střední a hodnota 3 pro MTTF_d každého prvku = dlouhá. [3]



Obr. 7 Graf pro určení hodnoty PL [3]

1.5 Využití programů SISTEMA

Program SISTEMA se využívá pro snazší určení hodnoty PL. Je potřeba nejdříve vytvořit projekt. Do základních informací, které se zobrazují po znovu otevření projektu patří název, datum vytvoření a poslední změny, stav, číslo a verzi dokumentu (Obr. 8).



Obr. 8 Tvorba projektu

Ve druhé záložce Safety functions je uveden seznam všech bezpečnostních funkcí. Editováním těchto funkcí, nebo vytvořením nové funkce se dostaneme do tabulek pro podrobnější analýzu dané funkce (Obr. 9). Kde můžeme nastavit spouštěcí událost, stav stroje apod. Překlikneme se na záložku PLr, kde můžeme určit PL bezpečnostní funkce. Dvojím způsobem přímo určením PLr (a, b, c, d, e) a vypsáním dlejších informací. Druhým způsobem je určení PLr dle grafu (Obr. 10).

Safety function

Documentation

PLr

PL

Subsystems

Name of safety function:

Type of safety function:

Triggering event:

Reaction and Behaviour on power failure:

Safe state:

Operation mode:

Demand rate:

Running-on time:

Priority:

Documentation:

Document:

...
Open

Obr. 9 Tvorba funkce

Safety function IFA

Documentation PLr PL Subsystems

☐ Enter PLr value directly
☒ Determine PLr value from risk graph

Required Performance Level:

Severity of injury (S)

S1	Slight (normally reversible injury)
<input checked="" type="checkbox"/> S2	Serious (normally irreversible injury or death)

Frequency and/or exposure times to hazard (F)

F1	Seldom to less often and/or exposure time is short
<input checked="" type="checkbox"/> F2	Frequent to continuous and/or exposure time is long

Possibility of avoiding hazard or limiting harm (P)

P1	Possible under specific conditions
<input checked="" type="checkbox"/> P2	Scarcely possible

Documentation:

Document: ... Open

Obr. 10 Performance Level - SISTEMA

Safety function IFA

Documentation PLr PL Subsystems

☒ Determine PL from subsystems

Performance Level (PL):

PFHD [1/h]:

Obr. 11 Performance Level ze subsystému

V dalších záložkách vidíme zařazení funkce do subsystému a hodnotu PL kterou si ze subsystému funkce přebírá (Obr. 11). Subsystém vytváříme podobně jako funkci. V záložce Category volíme strukturu subsystému (Obr. 12). Z něhož nám vyplívá hodnota MTTFD. Po zvolení struktury nám přibudou další dvě záložky CCF, kde volíme opatření a vlastnosti subsystému pro odhad poruch (Obr. 13). Ve druhé záložce definujeme bloky subsystému.

Subsystem IFA

Documentation PL Category MTTFD DCavg CCF Blocks

Category of subsystem

2	Requirements of B and the use of well-tried safety principles shall apply. Safety function shall be checked at suitable intervals by the machine control system.	The occurrence of a fault can lead to the loss of the safety function between the checks. The loss of safety function is detected by the check.	Mainly characterized by structure	
---	--	---	-----------------------------------	--

Requirements for the category

☐ Reduced test frequency (1/25)

☐ Accordance with relevant standards to withstand the expected influences.
☐ Basic safety principles are being used.
☐ Well-tried safety principles are being used.
☐ The requirements for the test frequency are satisfied.
☒ MTTFD is at least Low or Medium or High. [10 (Medium)].
☐ DCavg is at least Low or Medium: [0 (None)].
☒ The MTTFD of the test channel is greater than or equals half of the tested systems MTTFD.
☐ The achieved score of the CCF-rating is at least 65: [45 (not fulfilled)].

Documentation:

Source (e.g. standard):

Obr. 12 Kategorie subsystému

Library of CCF Measures

Library: SISTEMA default library

No.	Measure against CCF	
MEASURES FORM ISO 13849-1:2015, TABLE F.1		
Separation / Segregation		
1	Physical separation between signal paths, for example: — separation in wiring/piping; — detection of short circuits and open circuits in cables by dynamic test; — separate shielding for the signal path of each channel; — sufficient clearances and creepage distances on printed-circuit boards.	15
Diversity		
2	Different technologies/design or physical principles are used, for example: — first channel electronic or programmable electronic and second channel electromechanical hardwired, — different initiation of safety function for each channel (e.g. position, pressure, temperature), and/or digital and analog measurement of variables (e.g. distance, pressure or temperature) and/or Components of different manufactures.	20
Design / application / experience		
3.1	Protection against over-voltage, over-pressure, over-current, over-temperature, etc.	15

Cancel Load Selection

Obr. 13 Opatření a vlastnosti subsystému - CCF

U vytvoření bloku máme opět několik možností definování hodnoty MTTFD a DC. Jednou z možností je tvorba elementu, ze kterého si bude blok informace přebírat. Nejdůležitější hodnoty jsou zobrazovány v levém dolním rohu programu (Obr. 14).

Context	
SF	
PLr	e
PL	e
PFHD [1/h]	0
SB -	
PL	-
PFHD [1/h]	-
Cat.	-
MTTFD [a]	-
DCavg [%]	-
CCF	-
BL -	
MTTFD [a]	-
DC [%]	-
EL -	
MTTFD [a]	-
DC [%]	-

Obr. 14 Důležité hodnoty programu

Program je vhodný zejména pro analýzu elektronických a elektromechanických prvků stroje. V programu je možnost vytvořit zprávu s výsledky z celého postupu práce, která může sloužit např. jako podklad pro vydání prohlášení o shodě.

1.6 Normy pro bezpečnostní prvky

Po zvolení bezpečnostních funkcí a zjištění potřebné úrovně bezpečnosti je potřeba zvolit bezpečnostní prvky řídicích systému. Bezpečnostní funkci lze zajistit pomocí jedné nebo více komponent. Při návrhu bezpečnostního konceptu je potřeba zjistit informace týkající se vlastností stroje, prostředí, designu a ochranných zařízení a také chování obsluhy. U vlastností ochranných zařízení zjišťujeme jejich použití (např. bezkontaktní), polohu, velikost a integraci do řídicího systému.

Oddělovací ochranná zařízení zvaná ochranné kryty, se navrhují dle norem ČSN EN 953+A1 a ISO 14120. Pokud jsou kryty pohyblivé musí být vybaveny blokovacím zařízením, ty se rozdělují dle tabulky níže a jsou navrhovány dle normy ČSN EN ISO 14119, tato norma také obsahuje informace o silách, které je třeba vyvinout pro otevření ochranných krytů. Při konstruování je třeba myslet na manipulaci s ochranným zařízením, ze strany obsluhy např. použití blokování tohoto zařízení pomocí mince, drátu nebo plechu.

Rozlišujeme dva typy ovládání blokovacího zařízení, první je nucené ovládání, při kterém je za pomoci pevných částí krytů pohnuto mechanickou částí blokovacího zařízení, pokud nedojde k rozepnutí kontaktu je potřeba použít druhý typ ovládání a tím je nucený rozpínací kontakt, které zajistí rozepnutí spínače i při poruše nebo opotřebení kontaktů. Nebo je možné použít redundantní řešení s pomocí dvou blokovacích zařízení. Pokud používáme bezkontaktně ovládaný typ blokovacího zařízení a je jediným takovým zařízením musí toto zařízení splňovat normu ČSN EN 60947 -5-3. Bezpečná vzdálenost krytů od stroje, záviselých na otvorech v krytech se navrhuje dle norem ČSN EN ISO 13857 a ČSN EN ISO 13855.

Dalším typem jsou elektrická snímací ochranná zařízení (ESPE), ty lze použít pouze pokud z pracoviště neodlétávají třísky, roztavený materiál apod. Zároveň nechrání před hlukem nebo zářením. Pro tyto bezpečnostní zařízení platí norma ČSN EN 61496-1, která definuje požadavky EMC, prostředí a optického systému. Mezi tyto zařízení patří světelné závěsy nebo závory, laserové skenery, kamery. Světelné závěsy nebo mříže mají rozestup mezi paprsky menší než 40 mm a slouží k zabezpečení nebezpečných míst, kdežto pro světelné závory platí rozestup mezi paprsky větší než 40 mm a používají se jako ochrana pro přístup do nebezpečných prostor. Světelné závěsy a závory jsou řízeny normou ČSN EN 61496-2. Laserové snímače vzhledem k principu snímání, nepokrývají snímanou oblast neustále, ale díky přesným světelným impulzům pracují s rozlišením 30 -150 mm. Pro tyto snímače platí norma ČSN EN 61496-3. Pro návrh bezpečné vzdálenosti od stroje se používá norma ČSN EN ISO 13855.

Dalšími typy jsou pevná ochranná zařízení, ty neoddělují prostor, ale zajišťují, aby se osoby nebo části těla nevyskytovaly v nebezpečném prostoru. Patří sem dvouruční ovládání, potvrzovací zařízení. Dvouruční ovládání se navrhuje dle normy ISO 130851. Pro návrh bezpečné vzdálenosti od stroje se používá, stejně jako v předchozím případě norma ČSN EN ISO 13855. Požadavky na potvrzovací zařízení určuje norma ČSN EN 60204-1.

Ochranná zařízení reagující na tlak, mezi ně patří nášlapné rohože, spínací lišty, nárazníky, které jsou založeny na elastické deformaci tělesa. Po deformaci vyšle interní vysílač odporový signál nebo je zkratován proudový okruh. Posledním typem je rozpínací kontakt. Tyto typy ochranných zařízení se navrhuje dle normy ČSN EN ISO 13856.

Pro bezpečnostní funkce pohonu jako jsou bezpečně vypnutý kroutící moment nebo bezpečný směr pohybu slouží norma ČSN EN 61800-5-2.

1.7 Validace

Validace je kontrola řešení problému, zda jsou řešení vhodná pro potřebné snížení rizika, zejména pak specifikace a shoda návrhu komponent podílejících se na bezpečnostní funkci stroje. Části řídicí funkce, týkající se bezpečnosti, zvláště požadavků na úroveň bezpečnosti, musí splňovat normu ČSN EN ISO 13849–2. Při tomto procesu validace je vhodné řídit se následujícími postupy: technická kontrola polohy a funkčnosti ochranných zařízení, kontrola chybné reakce za pomoci simulací, validace požadavků na prostředí, zejména pak ochrany proti vlivům prostředí (teplota, otřesy, vlhkost aj.) a odolnosti proti elektromagnetickému rušení.

Pokud není za pomoci všech ochranných opatření zajištěna absolutní bezpečnost, musí být uživatel varován o zbývajících rizicích a nutnosti použití dalších ochranných opatření jako je např. použití OOPP, akustická a optická ochranná zařízení, výstražná upozornění na stroji (upozorňující značky) a v návodu (ve vztahu k nesprávnému užití stroje, údaje o zbytkových rizicích, pokyny pro jednání v případě nehod aj.).

U celkové validace je potřeba zkontrolovat všechny bezpečnostní opatření, tedy konstrukční, technická i organizační. V tomto procesu se může vyskytnout technické opatření, které v předchozím postupu nesplnilo požadavky na snížení rizika, ale nyní v celkovém posouzení docílí dostačujícího výsledku. Dostatečné snížení rizika je splněno při kladných odpovědích na všechny následující otázky, týkající se celého postupu návrhu bezpečného stroje nebo zařízení:

- Byly zohledněny všechny provozní podmínky ve všech fázích životnosti stroje?
- Byla aplikována 3stupňová metoda? (bezpečný návrh, technická opatření, informace pro uživatele)
- Byla ohrožení odstraněna nebo rizika ohrožení snížena natolik, jak jen to bylo prakticky proveditelné?
- Je zajištěno, že provedená opatření nevedou k novým ohrožením?
- Jsou uživatelé dostatečně informováni a varováni, pokud jde o zbytková rizika?
- Je zajištěno, že pracovní podmínky personálu obsluhy nebyly omezeny v důsledku provedených ochranných opatření?
- Jsou provedená ochranná opatření vzájemně slučitelná?
- Byly dostatečně zohledněny důsledky, jež mohou vzniknout použitím stroje v nekomerční, resp. neprůmyslové oblasti?

- Je zajištěno, že provedená opatření příliš neovlivnila funkci stroje v souladu s použitím?
- Bylo riziko přiměřeně sníženo?

Před uvedením na trh musí být na stroj umístěna značka prohlášení o shodě, podmínky pro udělení jsou popsány v kapitole (1.8). Dále musí být vytvořena kompletní dokumentace, jejíž rozsah je dán směrnicí o strojních zařízeních. Dokumentace musí tedy zahrnovat:

- Popis stroje – Výkresy, schémata zapojení, vysvětlení a popis činnosti stroje, výpočty, výsledky zkoušek apod. aby bylo možné zkontrolovat shodu s požadavky BOZP.
- Seznam aplikovaných norem a specifikací
- Podklady o posouzení rizika – základní požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví osob, popis ochranných opatření vedoucí ke snížení rizik, případně popis zbytkových rizik
- Všechny technické zprávy s výsledky zkoušek
- Provozní návod – podmínky uvedeny v kapitole (1.2)
- Kopie ES prohlášení o shodě, případně prohlášení o shodě jiných strojů nebo zařízení zabudovaných do stroje, nebo prohlášení o montáži a montážní návod pro neúplné stroje

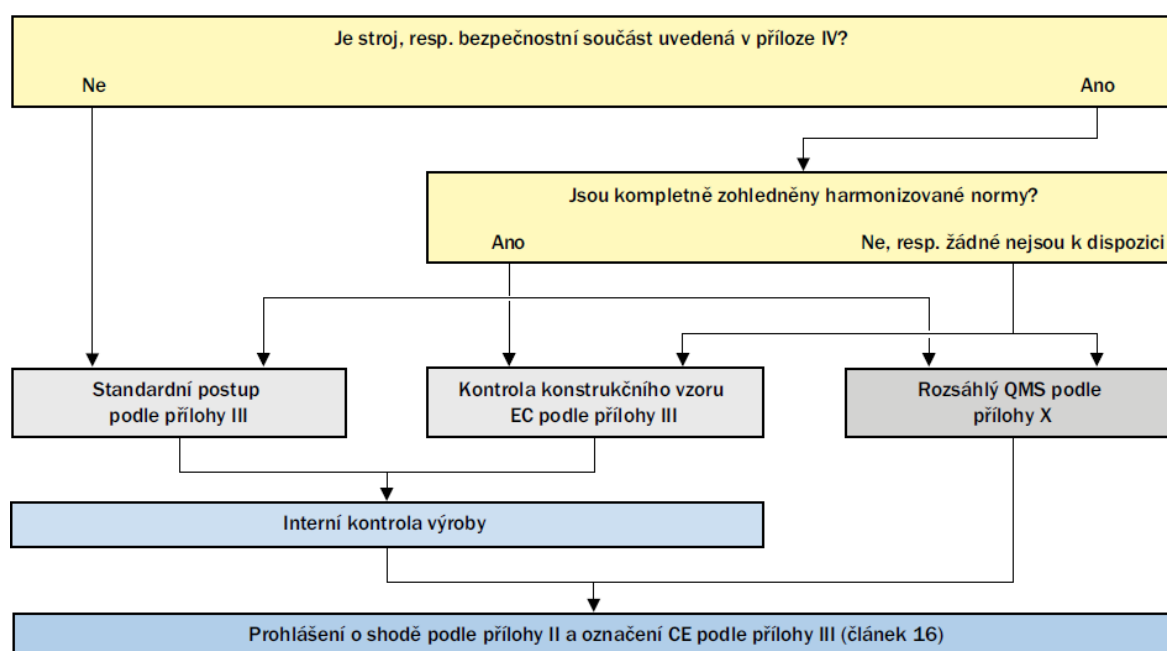
1.8 Vydání prohlášení o shodě

Když je stroj zkonstruován dle platných norem a předpisů, je nutné tuto skutečnost dle příloh II a III směrnice potvrdit vydáním prohlášení o shodě (značka CE). Až poté je možné uvést stroj na trh v Evropském hospodářském prostoru. Při standardním postupu výrobce splní požadavky směrnice, poté může na stroj umístit značku CE, a to bez zapojení kontrolní instituce nebo úřadu na vlastní odpovědnost. V tomto případě musí vytvořit technickou dokumentaci. Pokud existuje stroj nebo bezpečnostní součásti s vysokým ohrožením a je uveden v seznamu v příloze IV směrnice. Pak se postup dělí dle toho, zda jsou pro stroj nebo bezpečnostní součásti vydány harmonizované normy, které pokrývají celý rozsah požadavků. Pokud ano, poté je možné prohlášení o shodě získat některým z následujících způsobů. Buď vlastní certifikací stejně jako u standardního postupu, nebo ES přezkoušení typu notifikovanou kontrolní institucí. Při tomto způsobu výrobce poskytne stroj a technické podklady kontrolní instituci, a ta následně zkontroluje shodu se směrnicí a vystaví certifikát ES přezkoušení typu. Ne všechny notifikované kontrolní komise mohou kontrolovat každý

druh výrobku nebo stroje, mnoho z nich je notifikováno pouze pro speciální oblasti činností. Tuto notifikovanou kontrolní komisi je povinen jmenovat každý členský stát a ohlásit jí Evropské komisi v Bruselu. Poslední možností, jak získat prohlášení o shodě je použitím vyzkoušeného a rozsáhlého systému řízení kvality QMS. Tento systém musí zaručovat shodu s požadavky směrnice a stejně jako u předchozího způsobu, musí být systém zkontrolován notifikovanou kontrolní institucí. Poté je již dle přílohy X směrnice zodpovědný výrobce za účinnou a odbornou aplikaci systému. Pokud pro stroj jeho části nebo bezpečnostní součást neexistují harmonizované normy, nebo nebyly podle těchto norem konstruovány. Pak je možné získat prohlášení o shodě pouze ES přezkoušením typu notifikovanou kontrolní komisí nebo použitím QMS. Speciálním případem je neúplné strojní zařízení, které vyžaduje zvláštní postup. Výrobce takového – to stroje musí splnit všechny rozumně splnitelné základní požadavky dle směrnice, týkající se BOZP. Následně výrobce vydá prohlášení o zabudování. Toto prohlášení popisuje, které požadavky směrnice budou splněny a dodržovány. Stejně jako u ostatních strojů je nutné vytvořit technickou dokumentaci. U těchto typu neúplných strojů se nevytváří provozní návod, ale návod montážní. Jazyk je zkontrolován s uživatelem, v tomto případě nejčastěji integrátorem. Z tohoto postupu vyplývá, že pro průmyslové roboty prohlášení o shodě nevydává výrobce robotu, ale je vydáno až po integraci robotu do pracoviště.

V rámci kontroly dodržování směrnic je možné se obrátit na příslušné kontrolní instituce s poradenstvím v oblasti bezpečnosti. Další typem jsou Akreditované kontrolní instituce se zabývají osvědčováním zkušebních postupů a kritérií uznávaných národních institucí do kterých patří kontrolní instituce profesních sdružení a úrazových pojišťoven. Poradenství poskytují také pojišťovací společnosti, ty se zaměřují na vyloučení rizika z odpovědnosti, které souvisí s nedodržováním zákonných požadavků.

Shrnutí postupu vydání prohlášení o shodě zobrazuje následující graf. (Obr. 15)



Obr. 15 Shrnutí postupu vydání prohlášení o shodě

Trestní odpovědnost za vady výrobku vzniká, pokud výrobce svým výrobkem záměrně nebo z nedbalosti způsobí smluvnímu partneru nebo třetí straně škodu. Vady výrobků se rozdělují na konstrukční např. v návrhu ostrých hran, nedostatečné pevnosti výrobku apod. Druhým typem jsou výrobní vady způsobené výrobou např. část produkce neodpovídá standardům. Třetím jsou chyby v návodech a instrukcích pro uživatele, zde je nutné brát zřetel na možné chyby v použití výrobku. Český zákon o odpovědnosti za výrobek je řízen směrnicí evropské unie. Jako ochrana výrobce slouží dodržování platných norem, zde je nutné podotknout, že povinnosti výrobce pro zajištění bezpečnosti mohou být nad rámec těchto norem a zákonů.

1.9 Kolaborativní robotika

Součástí směrnice o strojních zařízeních je i část o spolupracujících, tedy kolaborativních robotech, věnuje se jí specifikace ISO/TS 15066. Dle směrnice je bezpečnost zajištěna následujícími způsoby: bezpečnostní monitorované zastavení – robot běží v automatickém režimu do doby, než je zapnuta tato funkce, poté je ovládán ručně např. při údržbě, po deaktivaci je nutné opustit pracovní prostor robotu. Další možností je ruční navádění, funguje obdobně jako předchozí možnost, ale slouží zejména pro učení pohybů. Kolaborativní robot může být vybaven funkcí pro sledování rychlosti a vzdálenosti, tento systém sníží rychlost a sílu nebo zastaví, když dojde ke kontaktu s obsluhou. Systém se využívá zejména tam kde robot s obsluhou přijde do kontaktu pouze na určitou dobu. Funkce pro omezení rychlosti a výkonu, se naopak využívá tam kde robot s obsluhou spolupracuje neustále, proto musí být nastaven tak aby obsluze neublížil. Této funkci se říká PFL (Power

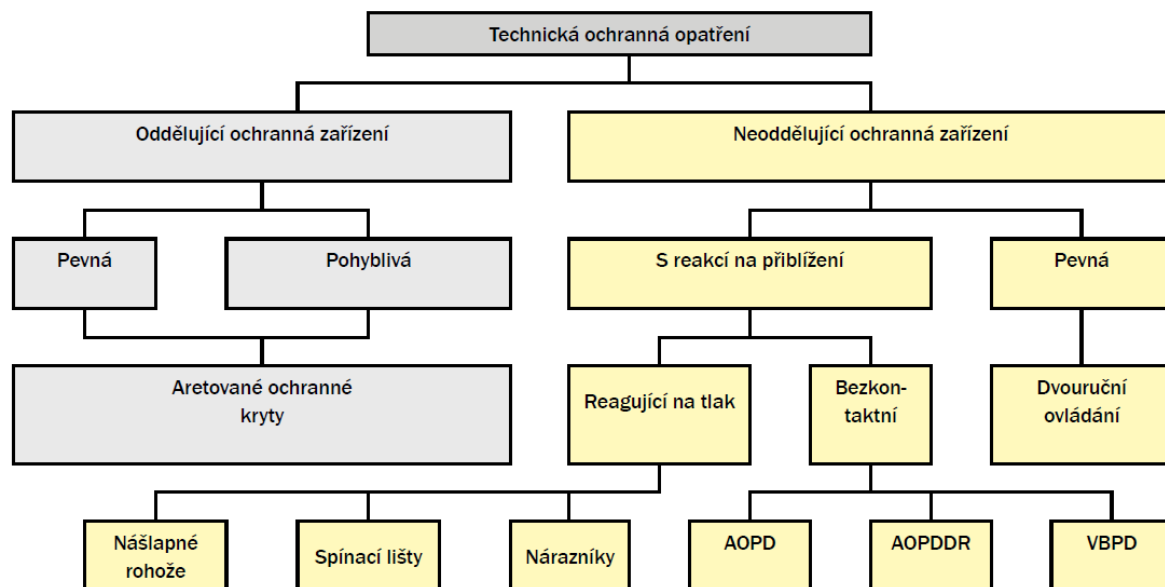
and Force Limited) a vztahuje se pouze na kontakt ramene a obsluhy. Pokud však robot přemísťuje ostrý, horký nebo jinak nebezpečný předmět, je nutné, aby byl umístěn za bezpečnostním oplocením.

Dle specifikace ISO/TS 15066 je určeno kvazistatické tedy trvalé přímáčknutí obsluhy ramenem k pevné části pracoviště nebo přechodné, v tomto případě může obsluha ucuknout. Rizika u těchto aplikací s kolaborativními roboty se posuzují dle specifikace tak, že je možné PFL funkci použít vždy pokud kolize nezpůsobila obsluze bolest. Pokud ano, ale nezpůsobila zranění, je možné tuto funkci použít pouze při malé četnosti výskytu těchto kolizí. Pokud již hrozí malé zranění, nelze PFL funkci užít samostatně je potřeba robota vybavit jinými bezpečnostními prvky např. kryty nebo spínače. Pokud by mělo vzniknou obsluze vážné zranění, je nutné bezpečnost zajistit jiným způsobem a funkci PFL nelze použít. U těchto aplikací se úroveň vlastností posuzuje obdobně jako u průmyslových robotů. Další podmínkami, aby mohla být funkce PFL použita jsou omezení míst na robotu, kde by mohlo dojít ke skřípnutí části těla např. většími styčnými plochami na robotu nebo použitím měkčených materiálů použití konstrukčních prvků k omezení pohybu tak, aby nemohlo dojít k zasažení části těla od úrovně krku nahoru. Při nesplnění této podmínky je povinností obsluhy nosit ochranný štít a helmu. Dále je třeba omezit momenty setrvačnosti ramen a snížení energie při kontaktu snížením rychlosti, která pro kolaborativní roboty činí 150 mm/s. [2]

2 Ochranná zařízení

Druhá kapitola uvádí rozdělení ochranných zařízení a jejich definici, správné použití a bezpečnostní vzdálenosti.

Ochranná zařízení jsou rozdělena dle následujícího grafu (Obr. 16).



Obr. 16 Rozdělení ochranných zařízení

2.1 Požadavky na ochranná zařízení

Ochranná zařízení ani jejich části nesmí být možné demontovat bez použití náradí. Musí být zajištěno, aby nebylo možné ochranné zařízení jednoduše obejít např. u rozpínacích kontaktů ohnutým drátem mincemi apod. Ochranná zařízení nesmí způsobit další ohrožení nebo vznik nových rizik. Ochranná zařízení musí být vhodně umístěná, tak jak je popsáno v následujících podkapitolách.

2.2 Oddělovací ochranná zařízení

Je to takový typ zařízení, který mechanicky blokuje přístup části těla do nebezpečných prostor. Takovéto ochranné kryty mohou být pohyblivé nebo pevné. Ochranné mříže se používají nejčastěji k zamezení přístupu celého těla, naproti tomu bariéry zamezují pouze neúmyslnému přístupu k oblastem s nebezpečím. Ochranné kryty mohou mít také bezpečnostní funkci zadržení vymrštěných dílů nebo záření. Upevnění ochranných krytů v případě, že se často nedemontují, nebo se otvírají pouze v případě údržby, musí být upevněny tak aby bylo možné je demontovat jen za pomoci náradí.

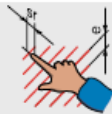



Častým otevíráním je myšleno v tomto případě alespoň jednou za směnu. V tomto případě je potřeba použít pohyblivé ochranné kryty, které musí být vybaveny blokovacím zařízením mechanickým (fyzický kontakt) – spínací vačka, aktuátor apod. nebo bezkontaktně (indukčně, magneticky, kapacitně, ultrazvukově opticky) např. kódovanými magnety, pokud jsou cyklicky otevírány, dají se snadno odstranit bez použití náradí, nebo chrání před vysokým rizikem. Blokovací zařízení se skládá z polohového snímače a aktuátoru. V některých případech je nutné použít několik blokovacích zařízení.

Polohové snímače a aktuátory musí být vhodně umístěny a upevněny, aby byly chráněny před nebezpečnými vlivy a poškozením. Musí být lehce přístupné pro kontrolu. Blokovací zařízení mohou být se zajištěním, a to v případě kdy trvá nebezpečí po vypnutí stroj např. stroj ještě dobíhá. Uvolnění blokovacího zařízení je provedeno jedním ze tří způsobů: časovým spínačem, automaticky, nebo manuálně. U tohoto typu je vhodné použití nouzového odblokování v případě chyby.

Typem ochrany rozběhu stroje po uzavření dveří je systém používající klíče. Pokud je klíč zastrčen v zámku zůstane automatický režim stroje blokován a nehrozí obsluze nebezpečí.

Jak bylo výše zmíněno ochranné kryty je nutné navrhovat v bezpečném odstupu od nebezpečného prostoru stroje, stejně tak je potřeba zajistit, aby otvory v krytech byly vhodně navrženy. Závislost vzdálenosti dle normy ČSN EN ISO 13857 krytu od stroje v závislosti na otvorech v krytu je vyobrazena v tabulce (Tab. 6).

Tab. 6 Bezpečná vzdálenost krytů

Část těla	Otvor e (mm)	Bezpečná vzdálenost (mm)		
		Štěrba	Čtverec	Kruh
Špička prstu	 $e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
	$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Prst až k dlani	 $6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
	$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
	 $10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
	$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
	$20 < e \leq 30$	≥ 850	≥ 120	≥ 120
Paže až po ramenní kloub	 $30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
	$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

Bezpečná vzdálenost u blokovaných krytů je vypočtena dle vzorce (2.1), kde S je bezpečná vzdálenost v mm, K je rychlost přibližování části těla ke stroji, zpravidla 1600 mm/s. T se rozumí doba doběhu systému a C je bezpečná vzdálenost dle předchozí tabulky (Tab. 6).

$$S = (K * T) + C \quad (2.1)$$

Pokud je možné, že by obsluha mohla vniknout do pracoviště z horní strany krytu je nutné navrhnout výšku krytu tak, aby tomu bylo zabráněno. U této možnosti vniknutí je potřeba zvětšit vzdálenost C od nebezpečného prostoru nebo zvýšit výšku b krytu dle tabulky (Tab. 7, Tab. 8). Podle potenciálu nebezpečí se volí dle různých tabulek, různá výška krytu. Jako ochrana proti podlezení krytu se volí obvykle 200 mm nad referenční rovinou.

Tab. 7 Výška ochranného krytu - malé riziko [4]

Výška nebezpečného prostoru ^{b)} a	Výška ochranné konstrukce ^{a)} b								
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500
	Vodorovná bezpečná vzdálenost k nebezpečnému prostoru c								
2 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2 200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2 000	1 100	900	700	600	500	350	0	0	0
1 800	1 100	1 000	900	900	600	0	0	0	0
1 600	1 300	1 000	900	900	500	0	0	0	0
1 400	1 300	1 000	900	800	100	0	0	0	0
1 200	1 400	1 000	900	500	0	0	0	0	0
1 000	1 400	1 000	900	300	0	0	0	0	0
800	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1 200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1 100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	200	0	0	0	0	0	0	0

^{a)} Ochranné konstrukce o výšce nižší než 1 000 mm nejsou uvedeny, protože tyto ochranné konstrukce nedostatečně omezují pohyb těla.

^{b)} Pro nebezpečné prostory nad 2 500 viz 4.2.1.

Tab. 8 Výška ochranného krytu – vysoké riziko [4]

Výška nebezpečného prostoru ^{a)} <i>a</i>	Výška ochranné konstrukce ^{a) b)}									
	<i>b</i>									
	1 000	1 200	1 400 ^{b)}	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
Vodorovná bezpečná vzdálenost k nebezpečnému prostoru <i>c</i>										
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 500	1 400	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0	0	0	0	0
800	1 500	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 400	1 300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1 400	1 200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1 200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

a) Ochranné konstrukce o výšce nižší než 1 000 mm nejsou uvedeny, protože tyto ochranné konstrukce nedostatečně omezují pohyb těla.

b) Ochranné konstrukce nižší než 1 400 mm nemají být používány bez přidavných bezpečnostních opatření.

c) Pro nebezpečné prostory nad 2 700 viz 4.2.1.

2.3 Optoelektronická ochranná zařízení

Jak již bylo uvedeno patří sem světelné závěsy a závory (AOPD), bezpečnostní laserové skenery (AOPDDR) a ochranná zařízení na bázi kamery (VBPD). Světelné závěsy a závory fungují na principu paralelních světelných paprsků a tím vytvoření ochranného dvourozměrného pole. Přerušení jednoho nebo více paprsků objektem nepropouštějící světlo mezi vysílačem a přijímačem způsobí změnu signálu na výstupech přijímače. Většinou nejsou paprsky zařízení spouštěny všechny ve stejný okamžik, ale postupně se rozsvěcejí a zhasínají. Toto řešení má bezpečnostní charakter vůči poruchám. Díky synchronizaci přijímače a vysílače vznikají nové funkce např. vymaskování objektů nebo taktový režim.

Vymaskování slouží k tomu, aby přítomnost jednoho nebo více definovaných objektů nevedla ke spuštění bezpečnostní funkce. Slouží většinou k vymaskování pevných objektů např. dopravníků, hadic ke stroji apod. Vymaskování se dělí do dvou typů pevné, u kterého je pevná poloha a rozměr vymaskované oblasti a plovoucí vymaskování u něj je dán rozměr ale ne poloha. Podobná logická funkce vstup/výstup je integrovatelná při horizontální pozici

snímače. Snímač poté dokáže rozlišovat mezi materiálem a osobou, tím že sleduje rychlost, směr pohybu, vstup a výstup apod.

Taktový režim se používá v pracovištích, kde je materiál cyklicky vkládán nebo odebírán. V tomto případě musí být rozlišení AOPD ≤ 30 mm. Je nutné zjistit, zda operátorovi nehrozí nebezpečí. Stroj zároveň musí být ochráněn tak aby nebylo možné, že operátor zůstane mezi strojem a ochranným zařízením bez detekce. Rozlišujeme dva typy režimu jednotaktový, kdy se stroj spustí po ukončení narušení prostoru operátorem. Dvoutaktový režim po prvním zásahu operátora (např. vyjmutí obrobku) ponechá stroj v bezpečném režimu, až po druhém zásahu a ukončení narušení prostoru se stroj spustí. Taktový režim se řídí normou ČSN EN ISO 13855 a ČSN EN 61496-1. Tyto zařízení musí být také vhodně umístěna v pracovišti dle tabulky (Tab. 9), tak aby do paprsku nezasahovaly jiné prvky pracoviště a případné osoby byly správně detekovány. Také je nutné zabránit ovlivňování ochranných zařízení sousedících pracovišť, a to kódováním paprsku nebo vhodným návrhem pracovních buněk.

Společnou funkcí pro ESPE zařízení je funkce časově omezené potlačení (mutting), kdy se bezpečnostní funkce vypíná v čase nebo při události, jako je průchod materiálu, nebo vytahování obrobku z lisu při pohybu beranu nahoru. K zajištění bezpečnosti slouží muttingové senzory nebo signály a samotná funkce muttingu musí být pečlivě navržena s ohledem na zmíněné senzory a signály. Funkce musí být aktivována pouze tehdy když nejsou prováděny nebezpečné pohyby stroje, když je blokován přístup do nebezpečného prostoru projíždějícím materiálem a není možný přístup zezadu. Při implementaci musí být splněny následující podmínky: muting musí probíhat automaticky, nesmí být závislý pouze na jednom signálu a pouze na softwarových signálech, neplatné kombinace signálů nesmí ohrozit muttingový stav a stav musí být zrušen ihned po průchodu materiálu. Stejně jako u funkce vstup/výstup se rozlišení zlepší podobnými parametry jako je směr pohybu nebo provozní stav dopravníků.

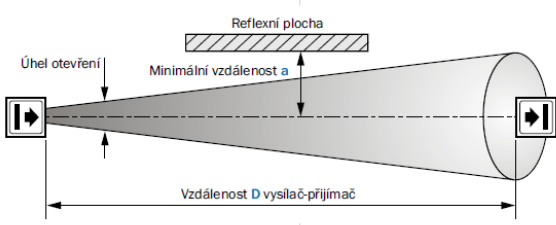
Bezpečnostní laserové skenery jsou zařízení s rozptylným odrazem, které pomocí optoelektronických přijímacích a vysílacích jednotek detekují odrazy od objektu. Stejně jako u AOPD zařízení mění výstupní signál, kterým se řídí zastavení stroje. Laserový skener vysílá krátké impulzy, ve stejném okamžiku se spouští „elektronický časovač“, narazí-li světlo na objekt, odrazí se zpět a skener jej zachytí. Díky údajům z „časovače“ o době vyslání a přijetí světla vypočítá skener vzdálenost od objektu. Díky rotujícímu zrcátku uvnitř senzoru, se světlo vychýlí a vytvoří světelnou kruhovou výseč a poté může skener vypočítat

i přesnou polohu objektu. Oblast, v němž je spuštěná bezpečnostní funkce, určuje programátor, těchto oblastí může být více a je možné mezi nimi přepínat během provozu. Tak lze rozlišovat mezi průchodem materiálu nebo osob. Zařízení tohoto typu jsou vhodná i pro rozpoznání tmavých objektů např. černý pracovní oděv.

Bezpečnostní zařízení na bázi kamery se používají pro záznam a zpracování obrazu detekce osob. Zařízení může využívat stávajícího osvětlení v pracovišti nebo mají přídavné nasvícení snímané scény. Pro detekci osob lze použít několik způsobů snímání přerušení světla které odráží zpětný reflektor, měření průchodu světla odraženého od objektu, kontrola změn vzorů pozadí nebo rozpoznání osob dle lidských vlastností.

Základním parametrem všech optoelektronických ochranných zařízení je rozlišení. Je to velikost nejmenšího objektu, které ochranné zařízení detekuje. Podmínky detekce určuje výrobce zařízení, většinou závisí na vzdálenosti mezi paprsky a průměrem paprsku. U laserových skenerů závisí na vzdálenosti od objektu, úhlu mezi vyslanými paprsky jeho tvaru a velikosti. Spolehlivost detekce určuje norma ČSN EN 61496, kde ochranná zařízení s rozptylným odrazem řadí k typu 3 a aktivní optoelektronická ochranná zařízení k typu 2 a 4. Rozdíly vidíme v tabulce (Tab. 9).

Tab. 9 Rozdíly mezi typy 2 a 4

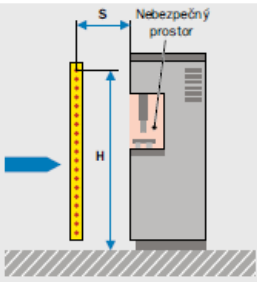
	Typ 2	Typ 4
Funkční bezpečnost	Mezi intervaly testování může při výskytu chyby dojít ke ztrátě ochranné funkce	I při výskytu více chyb zůstane ochranná funkce zachována
EMC (elektromagnetická kompatibilita)	Základní požadavky	Zvýšené požadavky
Maximální úhel otevření optiky	10°	5°
Minimální vzdálenost a od reflektujících ploch na vzdálenost $D < 3$ m	262 mm	131 mm
Minimální vzdálenost a od reflektujících ploch na vzdálenost $D > 3$ m		
Více vysílačů stejné konstrukce v jednom zařízení	Žádné speciální požadavky (je doporučeno kódování paprsků)	Žádný vliv nebo při vlivu vypnou výstupní spínací prvky zařízení

Volba vhodného ESPE lze volit dle některého z kritérií. Dle předpisů nebo norem, schopnost rozlišení, požadavky pracoviště. Optoelektronické snímače detekují vniknutí do

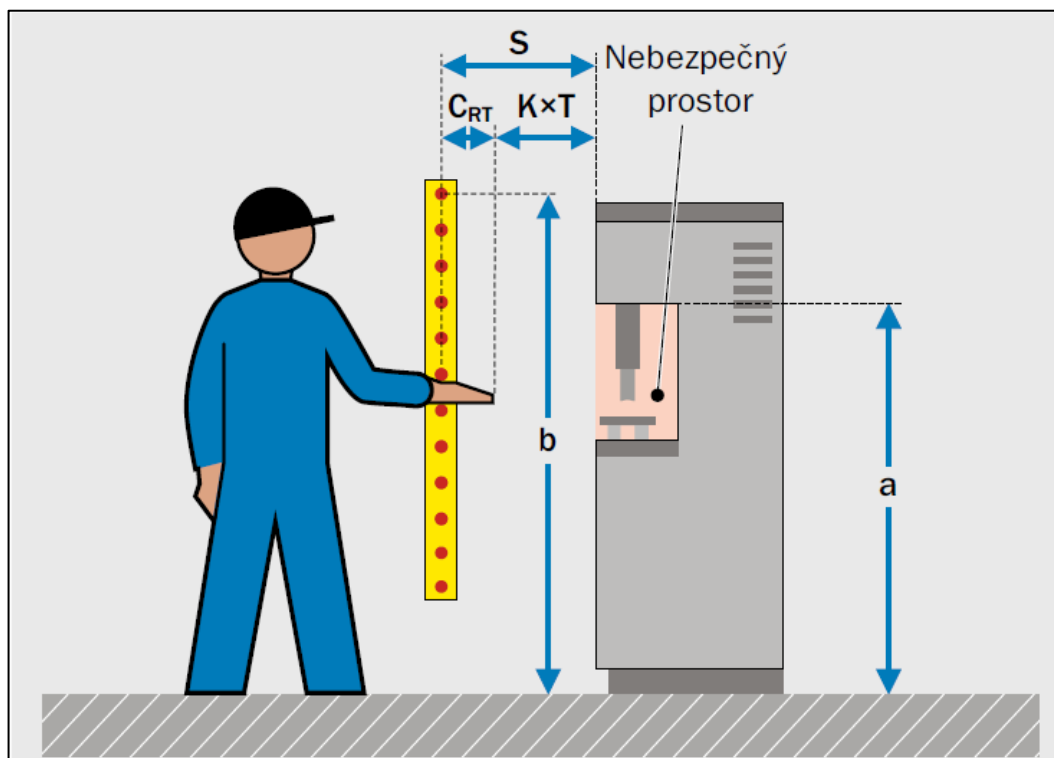
nebezpečného místa částmi těla. Laserové skenery detekují přiblížování k nebezpečnému prostoru nebo přiblížování mobilního robota k překážce.

Důležitým aspektem je vhodné umístění ESPE zařízení, platí pro, něj stejný vzorec (2.1) jako u pevných zařízení. Bezpečná vzdálenost se poté vypočítá dle následujících tabulek (Tab. 10, Tab. 12, Tab. 13). Přiblížení k nebezpečnému prostoru stroje je trojího typu přiblížení v pravém úhlu, paralelní přiblížení a přiblížení pod úhlem.

Tab. 10 Přiblížení v pravém úhlu

Přiblížení v pravém úhlu: $\beta = 90^\circ (\pm 5^\circ)$										
	Krok 1: výpočet bezpečné vzdálenosti S									
	$d \leq 40 \text{ mm}$	$S = 2\,000 \times T + 8 \times (d - 14)$ Pokud je $S > 500 \text{ mm}$, použijte: $S = 1\,600 \times T + 8 \times (d - 14)$. V tomto případě nesmí být $S < 500 \text{ mm}$.	Bezpečná vzdálenost S nesmí být $< 100 \text{ mm}$. $C = 8 \times (d - 14)$ je zde přídavná vzdálenost v milimetrech, od níž je odvozeno vniknutí do nebezpečného prostoru před spuštěním ochranného zařízení.							
	$40 < d \leq 70 \text{ mm}$	$S = 1\,600 \times T + 850$	Výška nejnižšího paprsku $\leq 300 \text{ mm}$ Výška nejvyššího paprsku $\geq 900 \text{ mm}$							
	$d > 70 \text{ mm}$	$S = 1\,600 \times T + 850$	<table><tr><th>Počet paprsků</th><th>Doporučené výšky</th></tr><tr><td>4</td><td>300, 600, 900, 1 200 mm</td></tr><tr><td>3</td><td>300, 700, 1 100 mm</td></tr><tr><td>2</td><td>400, 900 mm</td></tr></table> (400 mm se smí použít v případě, že nehrozí nebezpečí podlezání.)	Počet paprsků	Doporučené výšky	4	300, 600, 900, 1 200 mm	3	300, 700, 1 100 mm	2
Počet paprsků	Doporučené výšky									
4	300, 600, 900, 1 200 mm									
3	300, 700, 1 100 mm									
2	400, 900 mm									

U tohoto typu přiblížení je nutné provést výpočet pro určení potřebné výšky ochranného pole, aby nebylo možné do nebezpečného prostoru vniknout shora. To lze zajistit konstrukčně kryty, nebo je potřeba zvýšit výšku ochranného pole a potřeba zvětšit vzdálenost C_{RT} ESPE od nebezpečného prostoru ta je závislá na rozlišení bezpečnostního zařízení, tak aby nebylo možné vniknout do zařízení skrz ochranné pole (Obr. 17).



Obr. 17 minimální vzdálenost při vniknutí skrz

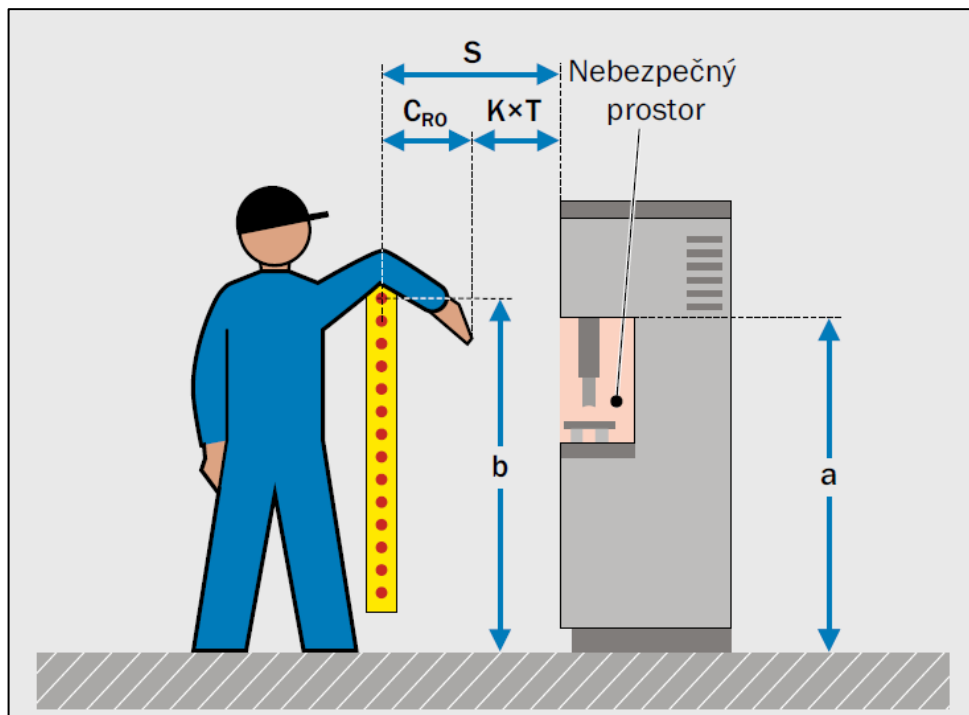
Postup určení výšky ochranného pole je následující, pokud známe hodnotu C_{RT} , ta se vypočítá dle vzorce (2.2) pro rozlišení $d \leq 40$ mm. Pokud je rozlišení $d > 40$ mm, $C_{RT} = 850$ mm. Určíme horní hranu nebezpečného prostoru a , vyhledáme nejbližší vyšší hodnotu, vypočítáme hodnotu C_{RT} a vyhledáme příslušnou hodnotu C stejnou nebo menší než C_{RT} v tabulce (Tab. 11) a průsečíkem zjistíme výšku ochranného pole b .

$$C_{RT} = 8 * (d - 14) \quad (2.2)$$

Tab. 11 Určení výšky ochranného pole b a vzdálenosti C

Výška a nebezpečného prostoru (mm)	Přidavná horizontální vzdálenost C od nebezpečného prostoru (mm)											
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Výška b horní hrany ochranného pole (mm)												
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600

Pokud je již daná výška ochranného pole b např. konstrukčně, je nutné zvětšit vzdálenost C_{RO} ochranného pole od nebezpečného prostoru (Obr. 18).



Obr. 18 minimální vzdálenost při vniknutí shora

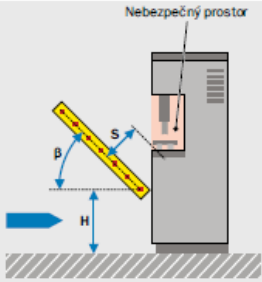
Postup pro určení vzdálenosti C je následující zjistíme výšku ochranného pole b a vyhledáme nejbližší nižší hodnotu v tabulce (Tab. 11), poté zjistíme výšku nebezpečného místa a pokud je hodnota mezi dvěma, musíme zvolit takovou pro kterou v následujícím kroku bude větší hodnota. Průsečíkem najdeme hodnotu vzdálenosti C .

Pokud je hodnota $C_{RO} > C_{RT}$ v dalších výpočtech pro určení minimální vzdálenosti C používáme hodnotu C_{RO} a naopak.

Tab. 12 Paralelní přiblížení

Paralelní přiblížení: $\beta = 0^\circ (\pm 5^\circ)$		
	Krok 1: výpočet minimální vzdálenosti S	
	$S = 1\,600 \times T + (1\,200 - 0,4 \times H) \quad H \leq 1\,000 \text{ mm}$ <p style="text-align: center;">příčměž</p> $C = (1\,200 - 0,4 \times H) \geq 850 \text{ mm}$	
	Krok 2: výpočet potřebného rozlišení v závislosti na výšce ochranného pole	
	$d \leq \frac{H}{15} + 50 \text{ mm}$	$H \leq 1\,000 \text{ mm}$ $d \leq 117 \text{ mm}$

Tab. 13 Přiblížení pod úhlem

Přiblížení pod úhlem: $5^\circ < \beta < 85^\circ$			
	$\beta > 30^\circ$ $\beta < 30^\circ$	Viz přiblížení v pravém úhlu. Viz paralelní přiblížení.	$d \leq \frac{H}{15} + 50 \text{ mm}$ se vztahuje na nejnižší paprsek. S se použije na paprsek v největší vzdá- lenosti od nebezpečného prostoru, jehož výška je $\leq 1\,000 \text{ mm}$.

2.4 Pevná ochranná zařízení

Mezi pevná ochranná zařízení, nebo – li neoddělující ochranné zařízení patří dvouruční ovládání. Pokud na pracovišti působí více operátorů platí, že každý operátor musí mít své dvouruční ovládání. Nebezpečný pohyb je spuštěn po stisknutí obou tlačítek najednou, a musí být přerušen při povolení jednoho z tlačítek. Musí se zabránit spuštění prvků nedopatřením, nebo jednoduchým způsobem obelstít. U těchto zařízení existuje více typů pro něž platí další specifiky a požadavky. Pro typ II a III platí, že pohyb může být spuštěn až po uvolnění a znovu stisknutí obou tlačítek. Navíc pro typ III platí, že musí být stisknuty tlačítka synchronně během 0,5 s.

Stejně jako u ostatních typu ochranných zařízení je nutné zařízení navrhovat v určité vzdálenosti od nebezpečného prostoru stroje dle vzorce (2.1)

Dalším typem takového ochranného zařízení je potvrzovací zařízení, které se používají nejčastěji při údržbě a opravách nebo seřizování. Následný pohyb stroje je prováděn pouze po dobu stisknutí tlačítka. Doporučuje se také používat třístupňové zapojení tlačítka, kdy při nestisknutí má funkci vypnuto, při stisknutí do první polohy je aktivován pohyb a při domáčknutí do krajní polohy je aktivováno nouzové zastavení, při uvolnění z této polohy musí zůstat stroj v režimu nouzového zastavení.

2.5 Ochranná zařízení reagující na tlak

K těmto druhům ochranného zařízení jsou nožní spínače, nárazníku, spínací lišty. Nožní spínače musí být vždy použity jen v kombinaci s jiných ochranným opatřením např. snížená rychlost. Musí být navrhovány s ochranným krytem a ve třístupňovém provedení zapojení se stejnými funkcemi jako potvrzovací tlačítko. Dále musí být možné manuálního resetu při aktivaci regulačního prvku. Pokud je zastaven nebezpečný pohyb, nové zapnutí je podmíněno uvolněním a znovu sešlápnutím pedálu. Vyhodnocení musí být provedeno

minimálně jedním spínacím a jedním rozpínacím kontaktem. Pokud stroj obsluhuje více operátoru, každý musí mít svůj nožní spínač.

2.6 Bezpečnost řídicího systému

Každý takovýto systém se skládá ze vstupního prvků, logické jednotky, výkonového řídicího prvku a hnacího nebo pracovního prvku. Provádí bezpečnostní funkce, a proto musí být odolné vůči poruchám. Mohou být fluidní nebo elektrické. V logických jednotkách jsou propojeny různé vstupní signály bezpečnostních funkcí s výstupními signály. Jednotky mohou být zapojeny jako jednotlivé stykače, nebo kombinace bezpečnostních relé. Posledním a nejpropracovanějším systémem je logická jednotka se softwarovými komponenty. Základními vlastnostmi dle logiky jsou v tomto případě parametrizace (výběr z vlastností v připravené nabídce), konfigurace (spojení funkčních bloků pomocí rozhraní), programovatelnost (volné uspořádání logiky pomocí rozsahu funkcí). O přenos informací v systému a mezi prvky zajišťují sběrnice. Výběr systému ovlivňují zejména požadované logické funkce a jejich počet, objem logických operací. Software těchto systémů, by měl být zkontrolován nezávislou osobou, vůči programátorovi.

Jako výkonové prvky se používají nejčastěji stykače, které slouží k zastavení hnacích nebo pracovních prvků. Jsou tvořeny mechanicky propojeny rozpínacím a spínacím kontaktem. Toto spojení slouží jako kontrola zpětného signálu a jedná se o nuceně vedené kontakty. Indukční prvky musí být chráněny proti přepětí n, varistorem nebo RC členem např. diodou, kombinací diod.

Bezpečnostní funkci u pohonu lze realizovat odpojením přívodu energie, monitorováním enkodéru, pomocí bezpečnostních funkcí, integrovaným přímo v regulátoru pohonu: bezpečné zastavení a brždění nebo bezpečné funkce pohonu. Jako rozhraní pro ovládání těchto funkcí slouží 24V diskrétní signály řídicí komunikace pomocí kanálu, bezpečné komunikační systémy.

Bezpečnostní prvky pracoviště jsou zapojeny do několika okruhů na kontroléru: emergency stop, ke kterým se připojují tlačítka. Optické závory, magnetické zámky apod. jsou zapojeny do okruhu auto stop. Veškerá nadřazená PLC se zapojují do okruhu general stop. Na kontroléru se nachází další bezpečnostní okruh superior stop, ke kterému můžeme připojit další prvky bezpečnosti.

Bezpečnost se zajišťuje oddělením řídicí a silové části kontroléru.

2.7 Ostatní a doplňkové opatření

V některých případech aplikací je nutné sledovat parametry stroje, k čemu se využívá senzorů nebo polohových snímačů. Je vhodné získat informace z enkodéru o počtu otáček rychlosti a doby doběhu. Autonomní transportní systémy, mohou použít informace pro přizpůsobení velikosti ochranného pole.

Roboty jsou vybaveny většinou konstrukčně na 1. až 5. ose mechanickými dorazy, aby nedošlo ke zničení robota. Pohyb robota je také omezen softwarově na jednotlivé osy, kdy lze definovat zakázaný prostor, kam robot nemůže.

Dojde-li k pohybu robota do místa při určitém natočení ramen, ze kterého řídicí systém nenajde cestu ven, nebo dojde-li singularitě ramen je nutné robot ručně odbrzdit tlačítkem. Tyto tlačítka pro jednotlivé osy jsou umístěny u základny robota. Při této manipulaci je nutné zajistit ramena robota do úvazku, aby nedošlo k samovolnému pádu.

V některých případech je nutné navrhnout další opatření ke zlepšení bezpečnosti. V těchto případech se nejedná o prvky bezpečné konstrukce ani jiná technická opatření. Patří sem např. zařízení pro nouzové zastavení, opatření pro odpojení energie nebo odvádění energie apod. Stroj může být vybaven nouzovým vypnutím, v případě že existuje možnost poškození stroje elektrickou energií.

Pro ovládací prvky nouzových režimů platí, že jsou červené na žlutém pozadí, dále je vhodné je navrhovat s hříbovým tlačítkem, ovládané dráty lanky, použití oddělovacích zařízení od elektrické sítě.

Po aktivaci nouzových prvků je nutné, zařízení resetovat a až poté může být stroj restartován. Výjimkou jsou pouze situace, kdy je nepřetržitě monitorován nebezpečný prostor. Reset musí být ovládán samostatným přístrojem (tlačítkem), který musí být vhodně konstruován, tak by byl aktivován pouze cíleně, proto nejsou vhodné dotykové panely. K potvrzení musí dojít až po uvolnění tlačítka ze sepnuté pozice a pouze v případě, že všechny ochranná zařízení jsou funkční. Místění tohoto tlačítka musí být provedeno tak, aby obsluha měla přehled nad celým nebezpečným prostorem. Signál z tohoto tlačítka musí být zapojen diskrétně do logické jednotky nebo je přenášen bezpečnostním sběrníkovým systémem.

Speciální využití ESPE je pro ochranu vnitřního prostoru, kde slouží jako doplňkové zařízení bezpečnosti, chránící proti rozběhu stroje, když se uvnitř stroje nachází obsluha. Používá se u velkých zařízení a brání vniknutí zezadu. Smí se používat pouze v přítomnosti

s hlavním bezpečnostním zařízením chránícím proti rozběhu jako jsou kryty nebo jiné ESPE zařízení. Minimální vzdálenost se v tomto případě počítá pro hlavní zařízení.

Pokud je ESPE zařízení upevněno na vozidle, vychází se při výpočtech minimální vzdálenosti z rychlosti vozidla. Pokud se přibližuje osoba i vozidlo k sobě, předpokládá se, že osoba se vyhne vozidlu nebo že zastaví. Bezpečná vzdálenost se proto volí tak by vozidlo mohlo bezpečně zastavit.

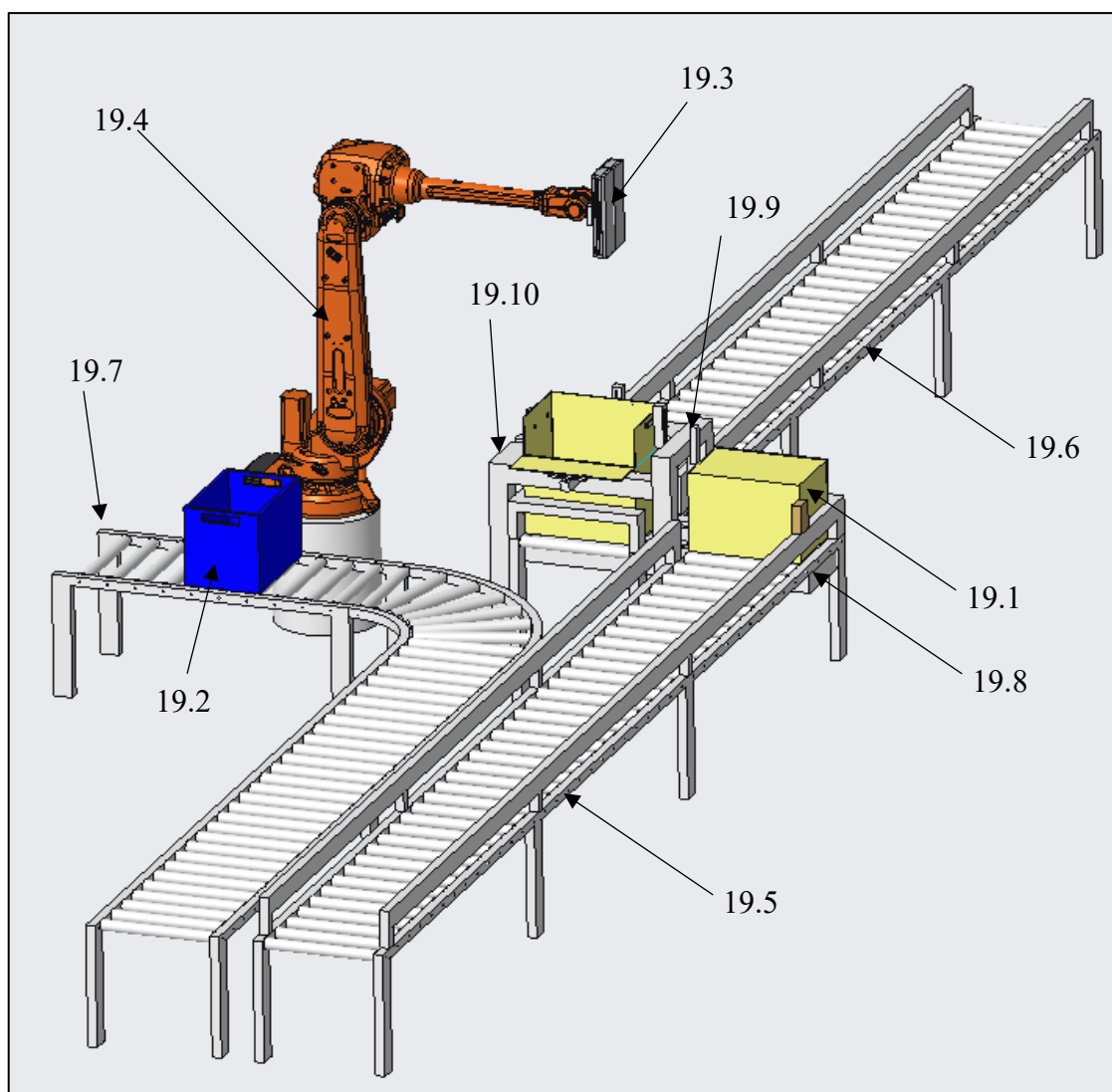
Když je ESPE zařízení součástí pohyblivé součástky stroje např. při lisování nebo ohýbání plechu. Rychlost vniknutí se tedy nezohledňuje, a tudíž nelze použít obecný vzorec. Musí se zamezit odrazu paprsku bezpečnostního zařízení od plechu, proto se využívá laserových systémů s vyhodnocením kamerou a jsou nutná další opatření. Tyto povinnosti jsou součástí C norem pro dané zařízení.

3 Pracoviště

V této kapitole je vysvětleno, jakým způsobem pracuje navržené pracoviště pro aplikaci bezpečnostních požadavků. Kapitola také obsahuje popis zařízení v pracovišti a logiku pracoviště.

3.1 Koncepce pracoviště

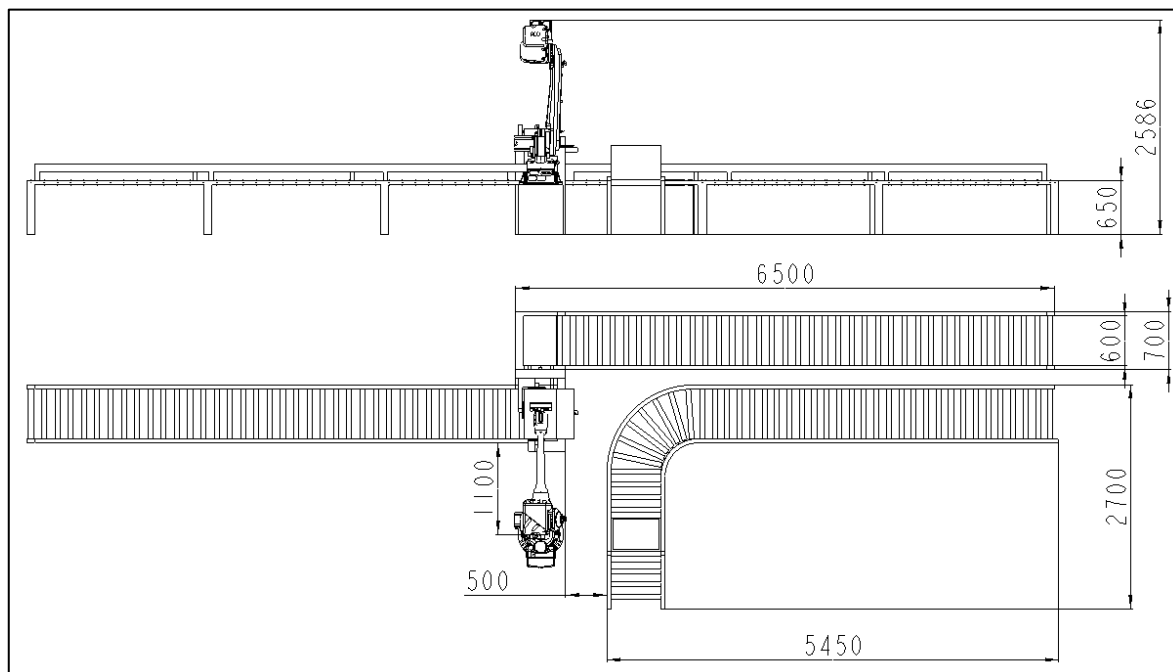
Pracoviště (Obr. 19), pro které se bude navrhovat zabezpečení, slouží k překládání balíků s textilem z kartonových krabic (19.1) do plastových beden (19.2). Rozměry pracoviště jsou uvedeny na obrázku (Obr. 20).



Obr. 19 Koncepce pracoviště

Textil je umístěn v plastových sáčcích a je překládán za pomoci vakuového efektoru (19.3) upevněného na robotu ABB IRB 4600 (19.4). Parametry těchto prvků, jsou uvedeny v tabulkách (Tab. 14, Tab. 16). Pracovní rozsah tohoto robotu je vyobrazen na obrázku níže

(Obr. 21). Robot je řízený kontrolérem v podobě Single cabinetu IRC5 od firmy ABB. Parametry kontroléru jsou uvedeny v tabulce níže (Tab. 15). Programy pro jednotlivá zařízení pracoviště budou programovány pomocí softwaru v počítači. Odladění a prvotní zkoušky se bude provádět pomocí flexpandantu.



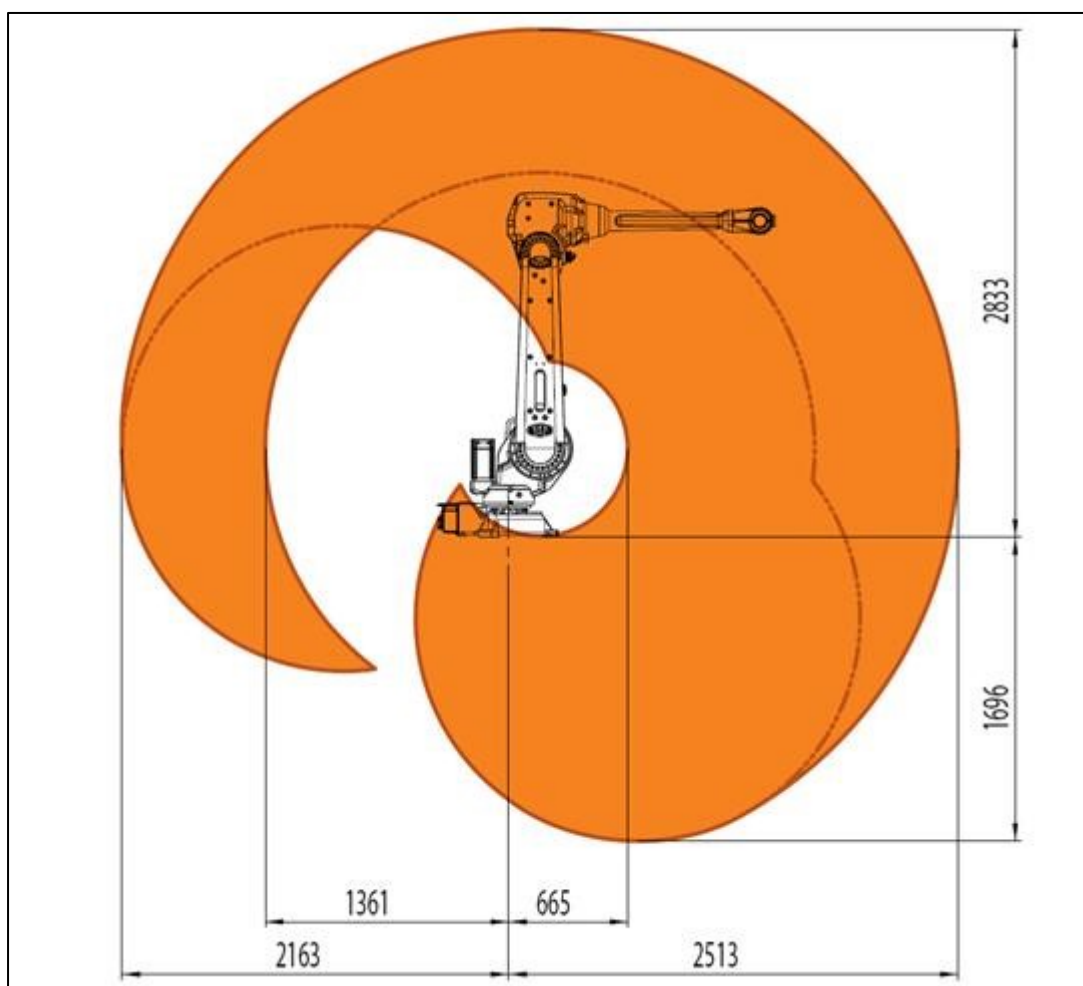
Obr. 20 Rozměry pracoviště

Tab. 14 Parametry ABB IRB 4600 [5]

ABB IRB 4600	
Počet os	6
Dosah	2500 mm
Nosnost	20 kg
Opakovatelnost	0,02 mm
Spotřeba energie	1,5 kW

Tab. 15 Parametry kontroleru ABB IRC5 [6]

ABB IRB 4600	
Rozměry	970x725x710 mm
Hmotnost	150 kg
Napětí	3-fázové 200 – 600 V, 50 - 60 Hz 1 – fázové 220/230 V, 50 – 60 Hz
Provozní teplota	0 – 45 °C
Bezpečnost	3 – kanálová
Vstupy/výstupy	Digital - 24 VDC Analog - 2 x 0-10V, 3 x ± 10V, 1 x 4-20mA
Dopravníky	Do 6 kanálů
Sběrnice/komunikace	RS 232 DeviceNet™ PROFINET PROFIBUS DP Ethernet/IP™ Allen-Bradley Remote I/O CC-link



Obr. 21 Pracovní rozsah robota [5]

Tab. 16 Parametry efektoru [7]

SCHMALZ FXP-SW70	
Rozměry	442x130x109 mm
Přísavek	66
Hmotnost	2,1 kg
Síla	440 N
Potřebné napětí	24 VDC

Dále je pracoviště tvořeno dvěma dopravníky pro vstup (19.5) a výstup (19.6) kartonových krabic z pracoviště a jedním dopravníkem ve tvaru písmene L (19.7) pro

dopravu plastových beden. Pro přesunutí bedny mezi dopravníky slouží přesuvna (19.8). Parametry těchto prvků jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 17, Tab. 18).

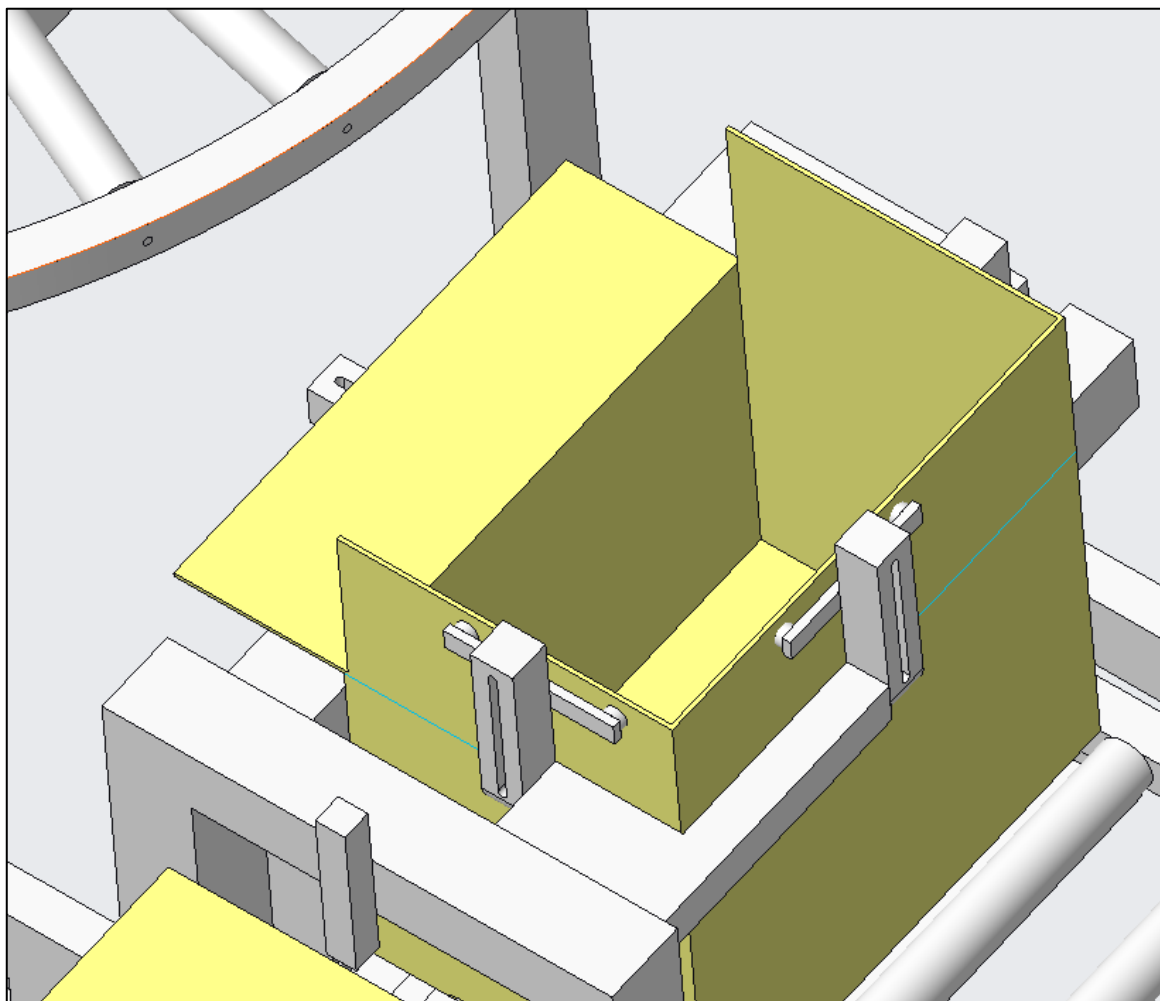
Tab. 17 Parametry dopravníků

Dopravník krabic vstup/výstup a beden	
Výška dopravníků	650 mm
Délka dopravníku pro krabice	6500 mm
Délka dopravníku pro bedny	5950 mm
Šířka dopravníku (mezi vedením)	600 mm
Rozteč válečků	180 mm
Průměr válečků	60 mm
Nosnost	120 kg/m
Rychlost OM po dopravníku	0,8 m/s

Tab. 18 Parametry přesuvny

Přesuvna Interroll RM8731	
Maximální zatížení	50 kg
Rychlost přesouvání	1 m/s
Napětí pro motory	24 V

Na rámu kudy prochází bedna je umístěn jednoosý manipulátor (19.9) pro rozříznutí pásky. Pro otevření klop kartonové krabice slouží manipulátor (19.10) se čtyřmi otočnými rameny s přísavkami. Tyto manipulátory jsou vyobrazeny na obrázku níže (Obr. 22).

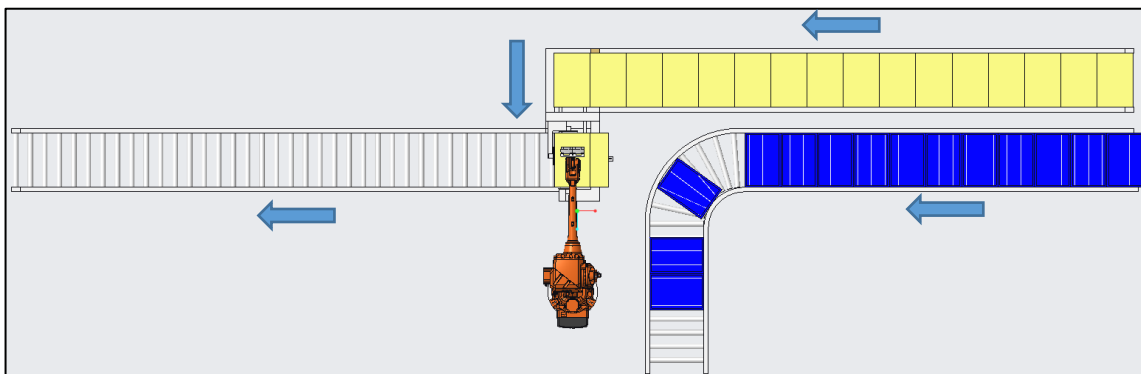


Obr. 22 Manipulátory pro otevření krabice

Dopravníky a manipulátor jsou řízeny PLC modulárním systémem od firmy Siemens, konkrétně typ Simatic S7 – 1200.

3.2 Logika pracoviště

Kartonové krabice z palety jsou vyskládány na vstupní dopravník, poté přesunutím mezi dopravníky dojde za pomoci bříty k rozříznutí lepící pásky na horní straně krabice. Poté jsou otočnými rameny s přísavkami otevřeny klogy krabice. Mezi tím se plastová bedna posune na určenou pozici. Robot nyní může přeskládat balíky z krabic do beden. Po dokončení této operace jsou klogy přísavkami puštěny a krabice odjíždí po výstupním dopravníku. Na konci dopravníku pracovník opět posbírání krabice a odveze je k další kontrole. Plná plastová bedna odjíždí po dopravníku k dalšímu zpracování. Tok krabic a přepravek je vyobrazen na obrázku (Obr. 23).



Obr. 23 Tok materiálu

3.3 Bezpečnost konstrukce pracoviště

Dle norem ČSN EN ISO 12100 a ČSN EN ISO 11161 musí být provedeno posouzení rizik z hlediska konstrukce strojů a zařízení s přihlédnutím na bezpečnost. Toto pracoviště bude navrženo s bezpečnou konstrukcí. Případná rizika jako jsou pořezání, nebudou obsahem této práce. Pro analýzu rizik je použit zjednodušený model pracoviště, který je postačující.

4 Požadavky

Obsahem této kapitoly je požadavkový list.

4.1 Požadavkový list

Požadavkový list upřesňuje zadání a specifikuje hlavní body, které ovlivňují bezpečnost v navrženém pracovišti. Požadavky jsou vypsány v tabulce (Tab. 19).

Tab. 19 Požadavkový list

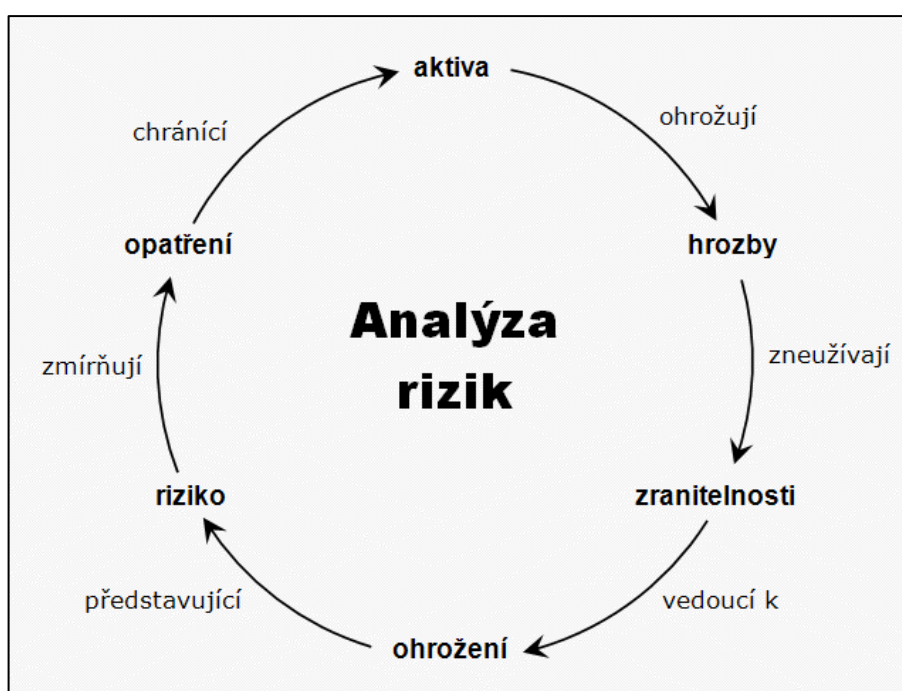
Pracoviště	Technologie	Překlad textilu z kartonových krabic do plastových beden
	Rozměry	Obr. 20
	Přítomnost osob	Pouze při údržbě
	Bezpečnost	Dle norem
Robot	Typ	ABB IRB 4600
	Rozsah pohybu	Obr. 21
	Nosnost	20 kg

5 Analýza rizik

V kapitole je definováno, čím se analýza rizik zabývá a jaké jsou metody. Dále je obsažen popis, jak byla aplikována analýza rizik dle tří metod na navržené pracoviště. Metody jsou porovnány a vybrána taková dle které bude pracoviště následně zabezpečeno.

5.1 Definice analýzy rizik

Provádíme ji, abychom zjistili, jakým hrozbám je společnost, v tomto případě obsluha pracoviště vystavena, jak dlouho hrozby přetrvávají, jaká je pravděpodobnost, že vyskytnou a jaký dopad to pro obsluhu bude mít. Analýza se řídí následujícím grafem (Obr. 24).



Obr. 24 Graf analýzy rizik

Aktivum – Každá hodnota ve společnosti, která by měla být nějakým způsobem chráněná. **Hrozby** – událost, která ohrožuje aktiva. **Zranitelnost** – vlastnost aktiva (fyzické, logické nebo administrativní), která může být zneužita hrozbou. **Riziko** – pravděpodobnost, že hrozba zneužije zranitelnosti aktiv. **Opatření** – opatření (fyzické logické nebo administrativní) chránící aktiva. Dalšími pojmy jsou narušení a ohrožení, narušení – situace kdy došlo k překonání bezpečnostních opatření. **Ohrožení** – existuje taková zranitelnost, která může být zneužita hrozbou.

Dle normy ISO 13335 rozdělujeme čtyři přístupy k provedení analýzy. Prvním je základní přístup bez analýzy, v tomto případě je použita sada opatření dle nějakého katalogu. Druhým přístupem je neformální, kdy je použita analýza rizik založená za zkušenostech

expertů a vyhodnocení možných scénářů. Třetím je formální přístup, který je založen na matematickém aparátu s detailní hodnocením aktiv, hrozeb a zranitelností. Posledním je kombinovaný přístup, po aplikaci orientační analýzy aktiv nebo procesů se provede detailní analýza rizik. [8]

Analýzu lze provést následujícími dvěma způsoby. Kvantitativní způsob je náročnější z hlediska zdrojů informací, jelikož ji vyjádřit finančně, stejně jako vyjádření v případě realizace hrozby. To vede však ke snadnějšímu rozhodování při hledání a volbě opatření. Kvalitativní způsob trvá kratší dobu, jelikož je méně náročná na zdroje. Není třeba finanční vyjádření. Tento způsob vede však k horšímu porovnání výše škody a nákladů na opatření. Stupně vyjádření jsou u tohoto způsobu subjektivní. Ve většině aplikací si však vystačíme s kvalitativním způsobem. [9]

Pro analýzu rizik existuje mnoho metod, zpravidla není možné najít jednu univerzální metodu, a proto je potřeba metody nebo jejich části kombinovat. V seznamu níže jsou uvedeny některé z metod. [10]

Seznam metod:

1. Check list
2. Safety audit
3. What – if analysis
4. PHA – předběžná analýza ohrožení
5. HAZOP – analýza ohrožení a provozuschopnosti
6. QRA – analýza kvalitativních rizik procesu
7. FMEA – analýza selhání a jejich dopadů
8. ETA – analýza stromu událostí

Lze využít také softwarů, které jsou založeny na fyzikálních modelech. Dle složitosti těchto modelů však dostáváme různě přesné výsledky.

Metody jsou však založeny na třech základních krocích. Prvním je identifikace nebezpečí, druhým stanovení rizika, a posledním krokem je zjištění, zda je riziko přijatelné.

Nejdříve je vhodné provést předběžné hodnocení rizik. Každá organizace by si měla vypracovat vlastní postup hodnocení, zkoušek a kontroly. Měl by obsahovat následující body:

1. pracovní činnost
2. nebezpečí
3. bezpečnostní opatření
4. ohrožený personál (zaměstnanci/ostatní)
5. pravděpodobnost škody
6. závažnost škody
7. úroveň rizika
8. nápravná opatření
9. administrativní náležitosti (např. jména hodnotitelů, datum aj.)

Pro správné zhodnocení rizik je potřeba kategorizovat všechny pracovní činnosti týkající se pracoviště. Stejně jako u předchozího postupu by měl obsahovat několik bodů:

1. geografické území (prostor) uvnitř/vně zařízení organizace
2. stavy výrobního (pracovního) procesu
3. plánované a neplánované práce
4. definované úkoly

Je nutné zjistit informace o pracovních činnostech, ke zjištění těchto informací může sloužit následující seznam:

1. úkoly, které mají být provedeny: jejich trvání a frekvence
2. lokalitu (místo), kde má být práce vykonána
3. kde se normálně/příležitostně úkoly vykonávají
4. kdo může být ovlivněn důsledky prováděné práce (návštěvníci, smluvní partneři, veřejnost aj.)
5. výcvik/školení, které personál k provedení úkolů absolvoval
6. psané pokyny/směrnice pro provádění úkolů
7. nástroje, které k výkonu činnosti mají být použity

8. výrobní/uživatelské instrukce/návody pro užití/údržbu zařízení a nástrojů
9. obsah a doporučení z bezpečnostních listů týkajících se chemických látek nebo přípravků
10. požadavky příslušných zákonů, vyhlášek a norem vztahující se k prováděné práci, užitému zařízení nebo chemické látce
11. bezpečnostní opatření, která by měla být použita
12. údaje o nehodovosti, úrazech, haváriích, poruchách aj., spojených s prováděnou činností, zařízením nebo látkou, získanými z informačních zdrojů uvnitř i vně organizace
13. nalezení jakýchkoli hodnocení vztahujících se k pracovní činnosti.

Důležitá je i identifikace zdrojů nebezpečí, zde můžeme využít třech následujících otázek:

1. Existuje zdroj poškození kdo/co může způsobit škodu?
2. Kdo/co může být poškozeno?
3. Jak může poškození nastat?

Zdroje nebezpečí můžeme také kategorizovat do skupin např. mechanická, elektrická apod. Identifikaci také usnadní informace k pracovním činnostem nebo situacím jako jsou:

1. pracovní zařízení
2. pracovní zvyklosti a uspořádání pracoviště
3. používání elektřiny
4. expozice fyzikálními faktory
5. faktory prostředí
6. vztah pracovního místa a lidského faktoru
7. organizace práce

[11]

5.2 Analýza rizik polokvantitativní metodou

K hodnocení rizik lze použít různých metod uvedených v této kapitole. Pro výše zmíněný postup hodnocení je vhodná tzv. polokvantitativní bodová metoda – PNH. Ta rozděluje rizika do pěti kategorií. Postup výpočtu je tedy podobný jako při určení bezpečnostní úrovně (kap.1.4). V tomto případě P znamená pravděpodobnost vzniku, N pravděpodobnost následků neboli závažnost nebezpečí, a H názor hodnotitelů. Pro vyhodnocení těchto tří složek slouží následující tabulky (Tab. 20, Tab. 21, Tab. 23). Do názor hodnotitelů H se promítá míra závažnosti, počet ohrožených osob, čas působení, pracovní prostředí apod. V našem případě je potřeba definovat tabulku pravděpodobnosti následků H (Tab. 22) pro ujmu na majetku.

Tab. 20 Pravděpodobnost vzniku P [10]

Nahodilá	1
Nepravděpodobná	2
Pravděpodobná	3
Velmi pravděpodobná	4
Trvalá	5

Tab. 21 Pravděpodobnost následků N – zdraví

Poškození zdraví bez pracovní neschopnosti	1
Absenční úraz (s pracovní neschopností)	2
Vážnější úraz vyžadující hospitalizaci	3
Těžký úraz a úraz s trvalými následky	4
Smrtelný úraz	5

Tab. 22 Pravděpodobnost následků N - majetek

Zmáčknutí krabice, OM	1
Roztržení obalu OM	2
Zašpinění OM, podřetí periferii	3
Zničení OM, přepravky	4
Zničení periferií nebo robota	5

Tab. 23 Názor hodnotitelů H [10]

Zanedbatelný vliv na míru nebezpečí a ohrožení	1
Malý vliv na míru nebezpečí a ohrožení	2
Větší, zanedbatelný vliv na míru ohrožení a nebezpečí	3
Velký a významný vliv na míru ohrožení a nebezpečí	4
Více významných a nepříznivých vlivů na závažnost a následky ohrožení a nebezpečí	5

Celkové hodnocení rizika R lze vyjádřit součinem složek P, N, H. dle výsledku riziko zařadíme do dané kategorie dle tabulky (Tab. 24).

Tab. 24 Stupně rizika [10]

Stupeň rizika	R	Míra rizika
1	> 100	Nepřijatelné riziko
2	51 - 100	Nežádoucí riziko
3	11 – 50	Mírné riziko
4	3 - 10	Akceptovatelné riziko
5	< 3	Bezvýznamné riziko

Hodnoty kategorií jsou tedy následující:

Kategorie 1 - Nepřijatelné riziko s katastrofickými důsledky, vyžadující okamžité zastavení činnosti, odstavení z provozu do doby realizace nezbytných opatření a nového vyhodnocení rizik. Práce nesmí být zahájena, nebo v ní nesmí být pokračováno, dokud se riziko nesníží.

Kategorie 2 - Nežádoucí riziko vyžadující urychlené provedení odpovídajících bezpečnostních opatření snižujících riziko na přijatelnou úroveň, na snížení rizika se musí přidělit potřebné zdroje.

Kategorie 3 - Mírné riziko, i když není nutnost opatření tak závažná jako u rizik kategorie 2. Bezpečnostní opatření nutno zpravidla realizovat dle zpracovaného plánu podle rozhodnutí vedení podniku. Prostředky na snížení rizika musí být implementovány ve

stanoveném časovém období. Je-li toto riziko spojeno se značnými nebezpečnými následky, musí se provést další zhodnocení, aby se přesněji stanovila pravděpodobnost vzniku úrazu, jako podklad pro stanovení potřeby dosažení zlepšení a snížení rizika.

Kategorie 4 - Akceptovatelné riziko, riziko přijatelné se souhlasem vedení. Je nutno zvážit náklady na případné řešení nebo zlepšení, v případě, že se nepodaří provést technická bezpečnostní opatření ke snížení rizika, je třeba zavést vhodná opatření organizační. Většinou postačuje školení obsluhy, běžný dozor apod.

Kategorie 5 - Bezvýznamné riziko, není vyžadováno žádné zvláštní opatření. Nejedná se však o 100% bezpečnost, proto je nutno na existující riziko upozornit a uvést např. jaká organizační a výchovná opatření je třeba realizovat. [10]

5.3 Provedení analýzy rizik polokvantitativní metodou

Rizika na pracovišti uvedeném v předchozí kapitole (kap.3) dělíme na rizika vznikající při provozu a rizika vznikající při údržbě. Nejdříve je potřeba si definovat pracovní činnosti při kterých mohou krizové situace vzniknout. Tyto pracovní činnosti ukazuje následující tabulka (Tab. 25).

Tab. 25 Pracovní činnosti

Manipulace obsluhy s krabicemi
Pohyb krabic po vstupním dopravníku
Pohyb krabice mezi dopravníky při řezání pásky
Otevření krabice
Pohyb robota s OM
Pohyb přepravky po dopravníku
Pohyb krabice po výstupním dopravníku
Pohyb obsluhy v okolí pracoviště

Následně definujeme situace, při kterých vznikají rizika pro jednotlivé pracovní činnosti. Definujeme rizika a dle uvedeného postupu v předchozí podkapitole zjistíme stupeň rizika. Nakonec zvolíme vhodná opatření.

První situací je samotný pohyb pracovníku v okolí pracoviště s robotem, jak je naznačeno v tabulce (Tab. 26).

Tab. 26 Rizika pohybu obsluhy v okolí pracoviště

Riziková činnost	Riziko	P	N	H	R	Stupeň rizika	Opatření
Přístup do pracoviště	Kolize robota s obsluhou	5	5	5	125	1	Vytvoření buňky, před vstupem obsluhy do pracoviště je robot zastaven
P – Pravděpodobnost vzniku (Tab. 20), Pravděpodobnost následků (Tab. 21), Názor Hodnotitelů (Tab. 23)							

V tomto případě bude v pracovišti vytvořena buňka obsahující robot, manipulátor pro otevření klop krabice a části dopravníku.

Pro druhou činnost vznikly situace a rizika v následující tabulce (Tab. 27).

Tab. 27 Rizika při manipulaci obsluhy s krabicemi

Riziková činnost	Riziko	P	N	H	R	Stupeň rizika	Opatření
Převoz krabic ručním paletovým vozíkem	Spadnutí krabice z palety	3	1	1	3	4	Školení obsluhy pro provoz paletového vozíku
	Sražení ostatních pracovníků	2	2	3	12	3	
Naložení vstupního dopravníku krabicemi / odběr prázdných krabic	Zaseknutí prstů /ruky mezi válečky	2	2	3	12	3	Školení obsluhy pro správnou manipulaci s krabicemi na dopravníku
P – Pravděpodobnost vzniku (Tab. 20), Pravděpodobnost následků (Tab. 21, Tab. 22), Názor hodnotitelů (Tab. 23)							

V tomto případě vznikly pouze bezvýznamná nebo mírná rizika, pro něž postačuje obsluhu proškolit. Tyto školení budou probíhat při nástupu nového zaměstnance na pozici a poté hromadně každý rok.

Při druhé činnosti pohybu krabic po dopravníku jsme analyzovali následující rizika (Tab. 28). K zaseknutí krabice na dopravníku může docházet ve dvou místech. Prvním prostorem je mimo prostor buňky vyhrazený ochranným plotem. V tomto případě je obsluha vystavena pouze druhému riziku zaseknutí prstů/ruky mezi válečky. V případě, že se krabice zasekne na dopravníku uvnitř buňky s robotem, je obsluha vystavena oběma rizikům.

Tab. 28 Rizika při pohybu krabic po vstupním dopravníku

Riziková činnost	Riziko	P	N	H	R	Stupeň rizika	Opatření
Zaseknutí krabice	Kolize robota s obsluhou	4	4	4	64	2	Před vstupem obsluhy do pracoviště je robot zastaven
	Zaseknutí prstů /ruky mezi válečky	2	2	3	12	3	Školení obsluhy pro správnou manipulaci s krabicemi na dopravníku
P – Pravděpodobnost vzniku (Tab. 20), Pravděpodobnost následků (Tab. 21), Náзор hodnotitelů (Tab. 23)							

Když se krabice pohybuje mezi dopravníky při řezání pásky dochází ke vzniku rizik uvedených v tabulce (Tab. 29).

Tab. 29 Rizika při pohybu krabice mezi dopravníky

Riziková činnost	Riziko	P	N	H	R	Stupeň rizika	Opatření
Zaseknutí krabice	Kolize robota s obsluhou nebo manipulátorem pro otevření klop	4	4	5	80	2	Před vstupem obsluhy do pracoviště je robot zastaven
	Pořezání obsluhy břitem	2	1	2	4	4	Školení obsluhy
Krabice nebude ve správné pozici	Neotevření klop krabice	5	1	2	10	4	Senzory pro detekci krabice a pravidelná údržba
	Kolize robota s krabicí	5	1	3	15	3	
P – Pravděpodobnost vzniku (Tab. 20), Pravděpodobnost následků (Tab. 21), Názor hodnotitelů (Tab. 23)							

Při zaseknutí krabice vzniká kromě kolize robota s obsluhou také kolize manipulátoru pro otevírání klop krabice s obsluhou.

Prvním bezpečnostním prvkem v tomto případě je senzor detekující správnou pozici krabice. Tímto lze zabránit kolizi robota s krabicí nebo neotevření klop. Tyto senzory je nutné pravidelně udržovat tak jak je uvedeno dále (kapitola). V tomto případě začne robot pracovat až při detekci krabice senzorem.

Druhým bezpečnostním prvkem je v tomto případě samotná funkce buňky. Pokud se v buňce bude nacházet obsluha robot zůstane zastaven.

Další pracovní činností, při které vznikají rizika je samotné otevírání klop krabice. Vzniklá rizika jsou uvedena v tabulce (Tab. 30).

Tab. 30 Rizika při otevírání krabice

Riziková činnost	Riziko	P	N	H	R	Stupeň rizika	Opatření
Nepřísátí přísavky ke klopně	kolize robota s krabicí	5	1	3	15	3	senzory na přísavkách
Výpadek tlakového vzduchu	kolize robota s krabicí	5	1	3	15	3	
	Uvolnění klopny	5	1	2	10	4	přísavky se zámkem
P – Pravděpodobnost vzniku (Tab. 20), Pravděpodobnost následků (Tab. 22), Náзор hodnotitelů (Tab. 23)							

V tomto případě vznikají dvě rizika spojena s tlakovým vzduchem. Pokud nedojde přísátí přísavky ke klopně krabice. Klopna by mohla zůstat zavřená a poté by došlo ke kolizi mezi robotem a krabicí. Do stejné kolize by se robot s krabicí dostal i při výpadku tlakového vzduchu, kdy by nedošlo k přísátí přísavky, případně by mohlo dojít k uvolnění klopny a ta by se zavřela.

V prvním případě, když nedojde k přísátí přísavky ke klopně, senzory podtlaku na přísavkách vyšlou signál robotu, aby nezačal s překládáním textilu. Aby nedošlo k uvolnění klopny při výpadku tlakového vzduchu, jsou použity přísavky se zámkem.

Při pohybu robota s OM mohou nastat následující rizika (Tab. 31).

Tab. 31 Rizika při pohybu robota s OM

Riziková činnost	Riziko	P	N	H	R	Stupeň rizika	Opatření
Neočekávaný pohyb robota vzhledem k programu	Kolize robota s pracovištěm	1	5	4	20	3	SafeMove
Nepřísátí OM	robot pracuje neefektivně	2	1	1	2	5	senzory na přísavkách
	Kolize robota s následujícím OM	2	2	2	8	4	
Výpadek tlakového vzduchu	Vypadnutí OM	3	3	2	18	3	Přísavky se zámkem
P – Pravděpodobnost vzniku (Tab. 20), Pravděpodobnost následků (Tab. 22), Náзор hodnotitelů (Tab. 23)							

Aby se zabránilo kolizi robota s periferiemi pracoviště jako jsou dopravníky. Vymežíme robotu zóny, ve kterých se nesmí pohybovat a zóny ve kterých se smí pohybovat pouze omezenou rychlostí.

Bezpečnostní opatření na efektoru robotu jsou obdobná z bezpečností přísavek pro otevírání klop krabice. Tedy podtlakové senzory zajišťují detekci OM a zabráňují, aby robot jel naprázdno. Tímto lze zabránit i kolizi s následujícím OM v krabici nebo přepravce.

Druhým bezpečnostním prvkem na efektoru proti vypadnutí OM při výpadku tlakového vzduchu bude efektor vybaven zámkem tlakového vzduchu, který udrží podtlak.

Při pohybu plastové přepravky po dopravníku vznikají následující rizika (Tab. 32), obdobná jako u krabic.

Tab. 32 Rizika při pohybu přepravky po dopravníku

Riziková činnost	Riziko	P	N	H	R	Stupeň rizika	Opatření
Zaseknutí přepravky	kolize obsluhy s robotem	4	5	4	80	2	před vstupem obsluhy do pracoviště je robot zastaven
	Zaseknutí prstů/ruky mezi válečky	2	2	3	12	3	školení obsluhy pro správnou manipulaci s přepravkami na dopravníku
Přejetí dané pozice na dopravníku	kolize robota s přepravkou	5	4	2	40	3	Pravidelná údržba senzorů pozic
P – Pravděpodobnost vzniku (Tab. 20), Pravděpodobnost následků (Tab. 21, Tab. 22), Názor hodnotitelů (Tab. 23)							

Jelikož jsou rizika při zaseknutí přepravky na dopravníku stejné jako u krabic. Byla zvolena i stejná opatření.

Při přejetí správné pozice přepravky na dopravníku, která je zajišťována IR snímači, by mohlo dojít ke kolizi robota s přepravkou. Při této kolizi by došlo ke zničení přepravky nebo efektoru na robotu. Proto je nutná pravidelná údržba a kontrola senzorů, jak je uvedeno dále (kap.7.4)

Pokud dojde k zaseknutí krabice na výstupním dopravníku (Tab. 33) vznikají stejná rizika jako u pohybu krabic na vstupním dopravníku.

Tab. 33 Rizika při pohybu po výstupním dopravníku

Riziková činnost	Riziko	P	N	H	R	Stupeň rizika	Opatření
Zaseknutí krabice	kolize obsluhy s robotem nebo manipulátorem	4	5	4	80	2	před vstupem obsluhy do pracoviště je robot zastaven
	Zaseknutí prstů/ruky mezi válečky	2	2	3	12	3	školení obsluhy pro správnou manipulaci s krabicemi na dopravníku
P – Pravděpodobnost vzniku (Tab. 20), Pravděpodobnost následků (Tab. 21), Náзор hodnotitelů (Tab. 23)							

U této pracovní činnosti je riziko zvýšeno tím, že může navíc dojít ke kolizi i s manipulátorem pro otevírání klop krabice. Ostatní rizika i opatření platí stejně jako u pohybu krabic po vstupním dopravníku.

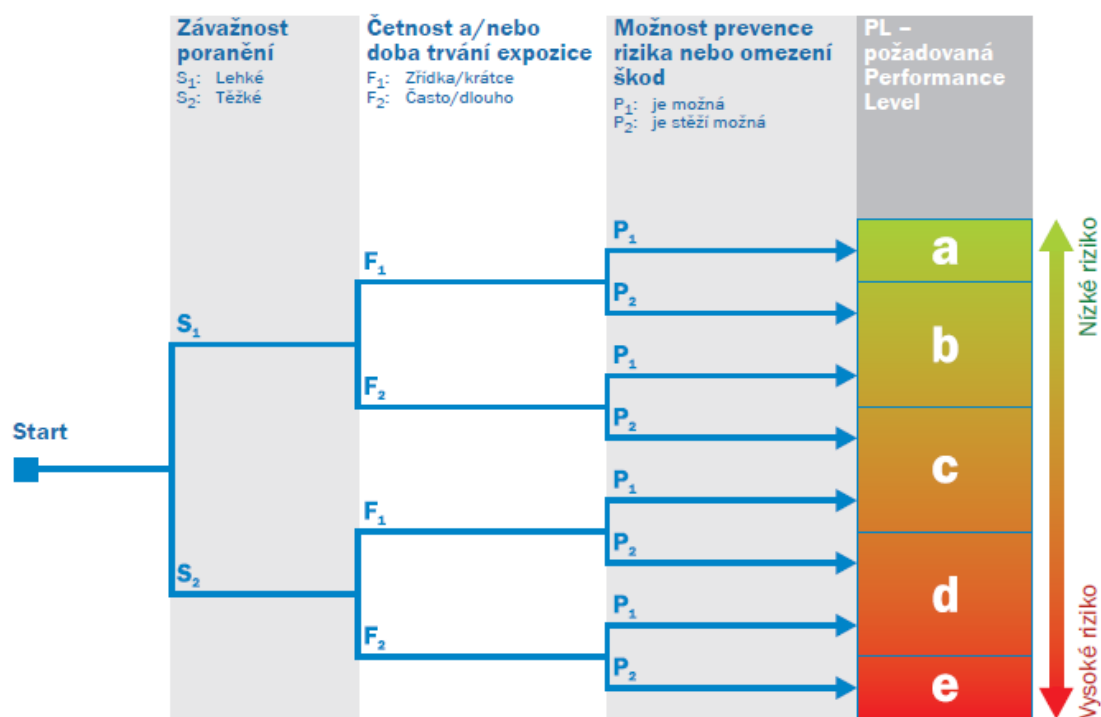
5.4 Rizika dle polokvantitativní metody při údržbě

Při údržbě definovaného pracoviště nevznikají další zvláštní rizika. Pracovník údržby musí být proškolen základní BOZP, vyhláškou č. 50/1978 Sb. a proškolen pro montáž, seřizování, programování a údržbu robotů.

Pracovník údržby je dále povinen přepnout robota do ručního režimu, flexpandant pro ovládání robota vzít si sebou dovnitř pracoviště a stiskem nouzového tlačítka umístěného uvnitř pracoviště, zajistit pracoviště proti automatickému provozu. Pro ostatní pracovníky platí informace o probíhající údržbě na displeji umístěném u pracoviště.

5.5 Analýza rizik dle normy ČSN EN ISO 13849

Bližší popis této normy je uveden dříve v této práci (kap.1.4). Jak bylo zmíněno takto provedená analýza rizik je závislá na rozhodnutí mezi dvěma možnostmi dle následujícího grafu (Obr. 25). U této metody lze použít stejné pracovní a rizikové činnosti (Tab. 25). Tato norma posuzuje pouze bezpečnost z hlediska újmy na zdraví. Proto jsou některá rizika vynechána. U pracovní činnosti otevření krabice a pohyb robota s OM, žádné riziko ohrožující obsluhu nevzniká. Provedenou analýzu rizik ukazuje tabulka níže (Tab. 34).



Obr. 25 Graf určení Performance Level [1]

Tab. 34 Analýza rizik dle normy

Pracovní činnost	Riziková činnost	Riziko	S	F	P	PL
Manipulace obsluhy s krabicemi	Převoz krabic ručním paletovým vozíkem	Sražení ostatních pracovníků	1	1	1	a
	Naložení vstupního dopravníku krabicemi / odběr prázdných krabic	Zaseknutí prstů /ruky mezi válečky	1	1	1	a
Pohyb krabic po vstupním dopravníku	Zaseknutí krabice	Kolize obsluhy s robotem	2	1	2	d
		Zaseknutí prstů /ruky mezi válečky	1	1	1	a
Pohyb krabice mezi dopravníky při řezání pásky	Zaseknutí krabice	Kolize obsluhy s robotem nebo manipulátorem	2	1	2	d
		Pořezání obsluhy břitem	1	1	2	b
Pohyb přepravky po dopravníku	Zaseknutí přepravky	Kolize obsluhy s robotem	2	1	2	d
		Zaseknutí prstů/ruky mezi válečky	1	1	1	a
Pohyb krabice po výstupním dopravníku	Zaseknutí krabice	Kolize obsluhy s robotem nebo manipulátorem	2	1	2	d
		Zaseknutí prstů/ruky mezi válečky	1	1	1	a

Pohyb obsluhy v okolí pracoviště	Přístup do pracoviště	Kolize obsluhy s robotem	2	2	2	e
----------------------------------	-----------------------	--------------------------	---	---	---	---

Z tabulky lze vidět, že nejčastějším rizikem je kolize obsluhy s robotem. Tato kolize je z hlediska PL vysoké. Dále nám norma určuje zvolit zabezpečení bezpečnostními prvky s hodnocením PL se stejnou nebo vyšší ochranou.

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole (kap.5.4) nevznikají žádná zvláštní rizika při údržbě.

5.6 Analýza rizik pomocí programu Safexpert

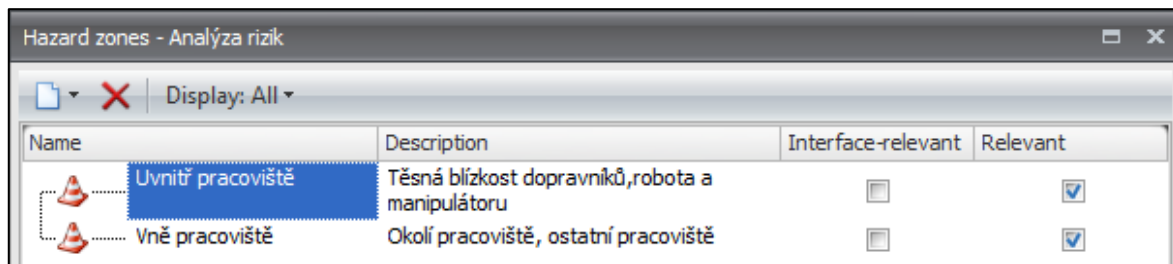
Program Safexpert je založen na metodě checklist. Je nutné se registrovat na stránkách výrobce. Při spuštění programu je nutné se přihlásit přihlašovacím jménem a heslem. Projekty jsou ukládány do cloudu společnosti, tudíž je nutné připojení k internetu. Díky této možnosti jsou projekty přístupné a upravitelné z jakéhokoliv počítače kde je nainstalován Safexpert.

Nejdříve založíme nový projekt, u kterého určíme název, číslo projektu a data o produktu který analyzujeme, případně informace o zákazníkovi (Obr. 26).

Obr. 26 Project data Safexpert

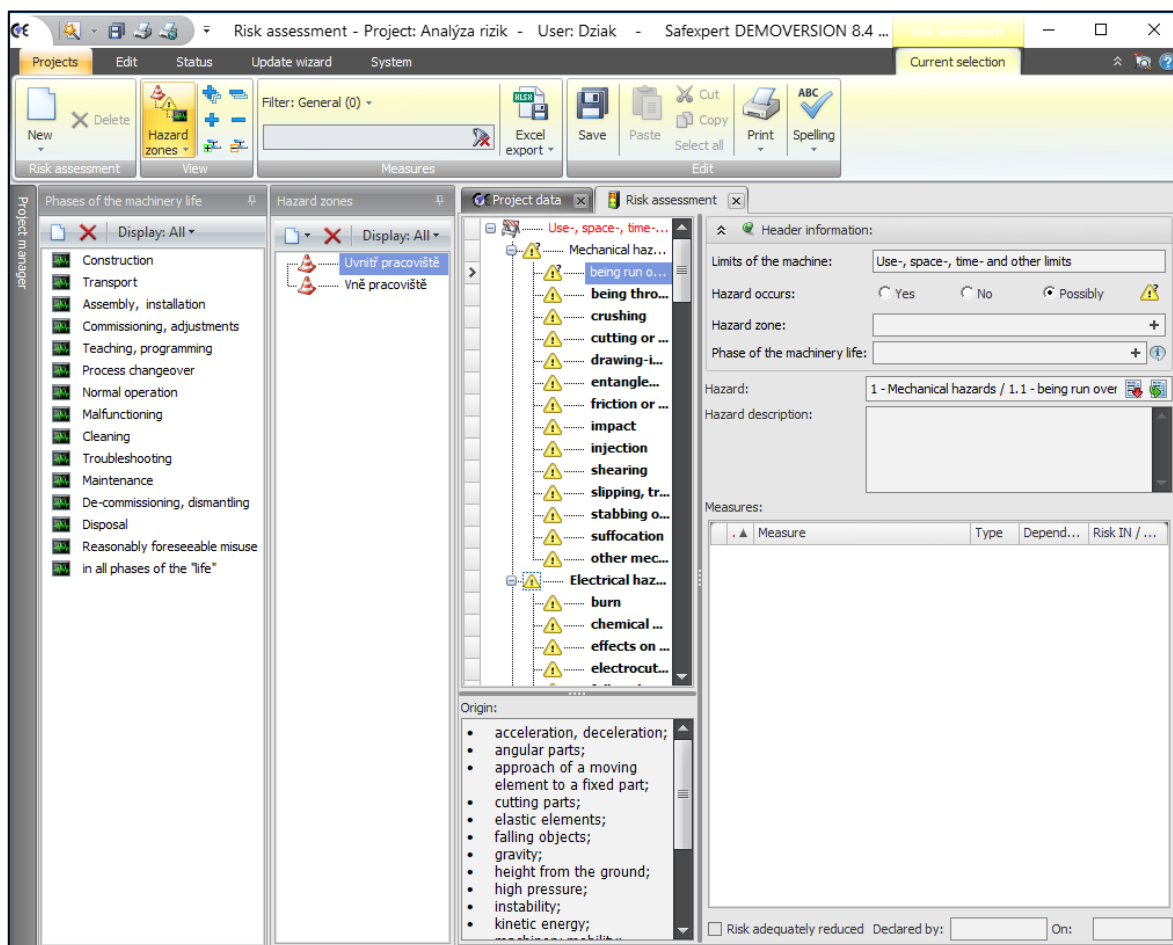
Po vyplnění potřebných dat projektu, navrhne zóny, ve kterých vzniká nebezpečí. V našem případě byly zvoleny dvě zóny (Obr. 27), uvnitř pracoviště, v tomto případě v okolí

dopravníků, robota a manipulátorů. Druhá zóna obsahuje okolí pracoviště, kde uvažujeme pohyb v okolí pracoviště nebo na sousedních pracovištích.



Obr. 27 Volba nebezpečných zón

Nyní se již můžeme překliknout do záložky Risk assessment. Zde se dostáváme k samotné podstatě programu. V našem případě uvažujeme výchozí nastavení týkající se životních fází stroje. Ve druhém sloupci vidíme navržené nebezpečné zóny. Ve třetím sloupci volíme jednotlivá vznikající rizika. (Obr. 28) Při provádění analýzy rizik, postupujeme systematicky dle seznamu rizik a rozhodujeme, zda riziko vzniká, nebo nikoliv.



Obr. 28 Pracovní plocha Safexpert

Pro každé riziko vyplňujeme tabulku s potřebnými údaji, zda riziko vzniká, ve které nebezpečné zóně, ve které fázi života stroje, popis rizika a navržená opatření (Obr. 29). Popis opatření můžeme i ukládat a v případě potřeby je použijeme.

Header information:

Limits of the machine: Use-, space-, time- and other limits

Hazard occurs: ☒ Yes ☐ No ☐ Possibly

Hazard zone: Uvnitř pracoviště +

Phase of the machinery life: Normal operation +

Hazard: 1 - Mechanical hazards / 1.2 - being thrown

Hazard description: Při pohybu robota s OM (balíček s oblečením), může být OM upuštěn, když dojde k vypadnutí tlakového vzduchu na efektoru.

Measures:

	Measure	Type	Depend...	Risk IN / ...
1	Efektor bude vybaven pneumatick...	ISD	<input type="checkbox"/>	0 / 0

Obr. 29 Popis rizika

Navrhujeme opatření, zvolíme jeho typ (Obr. 30, Tab. 35) závislost na řídicím systému a provedeme, odhad míry rizika.

Type	Depends on ...	Risk IN / OUT
ISD	<input type="checkbox"/>	3 / 2 ...
ISD	Inherently safe design measure	
SCP	Safeguarding / complementary protective	
PPE	Personal protection equipment	
PIC	Note on the machinery (Pictogram, ...)	
OI	Note in the Operating instruction	

Obr. 30 Volba typu opatření

Tab. 35 Popis typu opatření

ISD	Zajištěno konstrukčním řešením
SCP	Doplňkové opatření
PPE	Osobní ochranný prostředek
PIC	Značení na stroji/zařízení
OI	Popis v návodu k obsluze

Odhad provedeme pomocí tabulky (Obr. 31). Nejdříve zvolíme míru újmy na zdraví (bez zranění, lehké zranění, těžké poranění, smrt) poté volíme, zda se dá riziku vyhnout, kde P = Possible under certain circumstances (za určitých okolností), H = Hardly possible (těžko odstranitelné). U těžkých zranění nebo smrti určujeme, zda je obsluha vystavena riziku zřídka nebo často. Poté volíme ze škály zřídka, občas, často dle toho, jak často riziko vzniká.

Pod tabulku je možné popsat nebo vysvětlit blíže hodnocení rizika a opatření.

V druhém číselném sloupci volíme o kolik bylo riziko sníženo podobně jako u hodnocení rizika. U rizik, kde nedochází k újmě na zdraví se riziko výše zmíněným postupem nehodnotí.

Risk estimation

IN

	SM	MI	HI
no injury	0	0	0
slight	0	0	1
	0	1	2
rarely	1	2	3
	2	3	4
serious	3	4	5
	4	5	6
often	5	6	7
	6	7	8
death	7	8	9
	8	9	10

OUT

	SM	MI	HI
no injury	0	0	0
slight	0	0	1
	0	1	2
rarely	1	2	3
	2	3	4
serious	3	4	5
	4	5	6
often	5	6	7
	6	7	8
death	7	8	9
	8	9	10

Selected signal word:

Manually overridden by: On:

Reason for this valuation:

Evaluated by: On:

Delete risk estimation

OK Cancel

Obr. 31 Odhad rizika Safexpert

Program umožňuje export do několika formátů. Čehož musí být využito pro případ této práce. Provedená analýza rizik za pomoci programu Safexpert je uvedena v příloze (Příloha B).

Vůči předchozím metodám byly přesněji analyzovány rizika při programování a údržbě.

Dle normy ČSN 12100, je potřeba po zabezpečení pracoviště znovu provést, nebo zkontrolovat analýzu rizik, zda nevznikly nová rizika.

5.7 Zhodnocení metod analýzy rizik

Metody polokvantitativní a dle normy ČSN EN ISO 13849 jsou podobné, stejně tak jako by byla provedena analýza rizik dle normy ČSN EN 62061, ta je velice podobná polokvantitativní metodě proto nebyla použita. Metoda, kdy použijeme normu ČSN EN ISO 13849 je rychlejší, a navíc nám pomůže s výběrem bezpečnostních prvků. Nevýhodou je

zanedbání kolize robota s pracovištěm. Metoda pomocí programu Safexpert je snadná, výhodou je samotná metoda, která pomáhá určit všechna rizika. Tato metoda je tedy velice přesná. Velkou výhodou tohoto programu je možnost práce v týmu, přidáním více uživatelů. Psaní poznámek či otázek v týmu a schvalování projektu. Nevýhodou je časová náročnost vůči předchozím metodám.

Z výše uvedených provedených analýz rizik, budou pro další práci využity výsledky z programu Safexpert

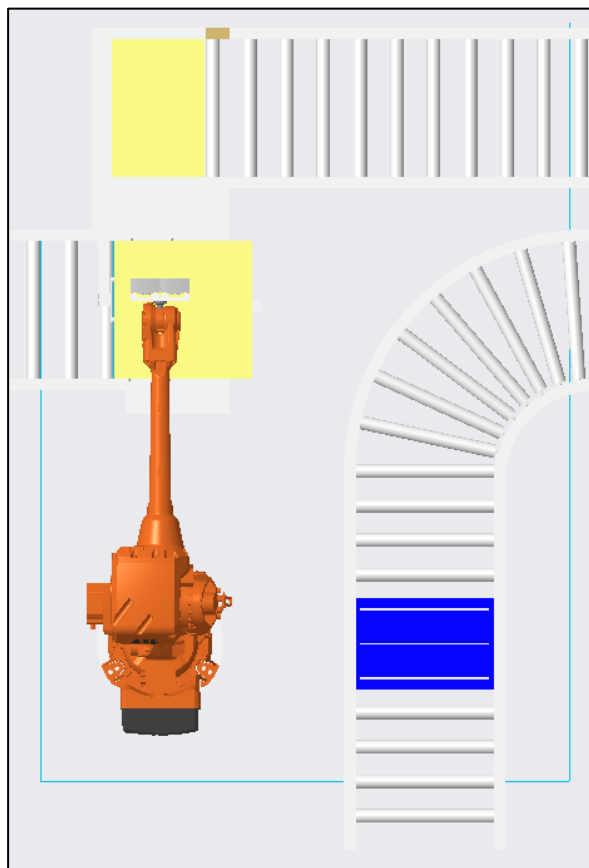
6 Zabezpečení pracoviště

Tato kapitola navazuje na výsledky analýzy rizik z předchozí kapitoly. Obsahuje tedy popis použitých bezpečnostních prvků pro zabezpečení pracoviště.

Bezpečnostní zařízení jako je laserový skener a stop tlačítka a dveřní modul se zámkem budou připojeny k bezpečnostním modulům řídicího systému Simatic S7.

6.1 Bezpečnostní oplocení

Pracoviště je zabezpečeno ze tří stran ochranným oplocením Haberkorn X-Guard, jako je vyznačeno na obrázku modrou čarou (Obr. 32). Třístranné oplocení je použito vzhledem k tomu, že dochází k častému zasekávání krabic na dopravníku nebo při rozřezávání pásy. Zabezpečení čtvrté strany je řešeno v následující kapitole (kap. 6.3). Norma předepisuje, stejně jako výrobce v katalogu bezpečnou vzdálenost oplocení od nebezpečí 200 mm dle parametrů uvedených v tabulce (Tab. 36). Na pravé straně byla vzdálenost měřena od dopravníku. Výška ochranného oplocení 2300 mm byla zvolena tak, aby nebylo možné dosáhnout na robota ani z horní strany. I přes toto opatření dle tabulky musíme bezpečnostní vzdálenost dle normy ČSN EN ISO 13857 i katalogu výrobce zvětšit na minimum 400 mm.



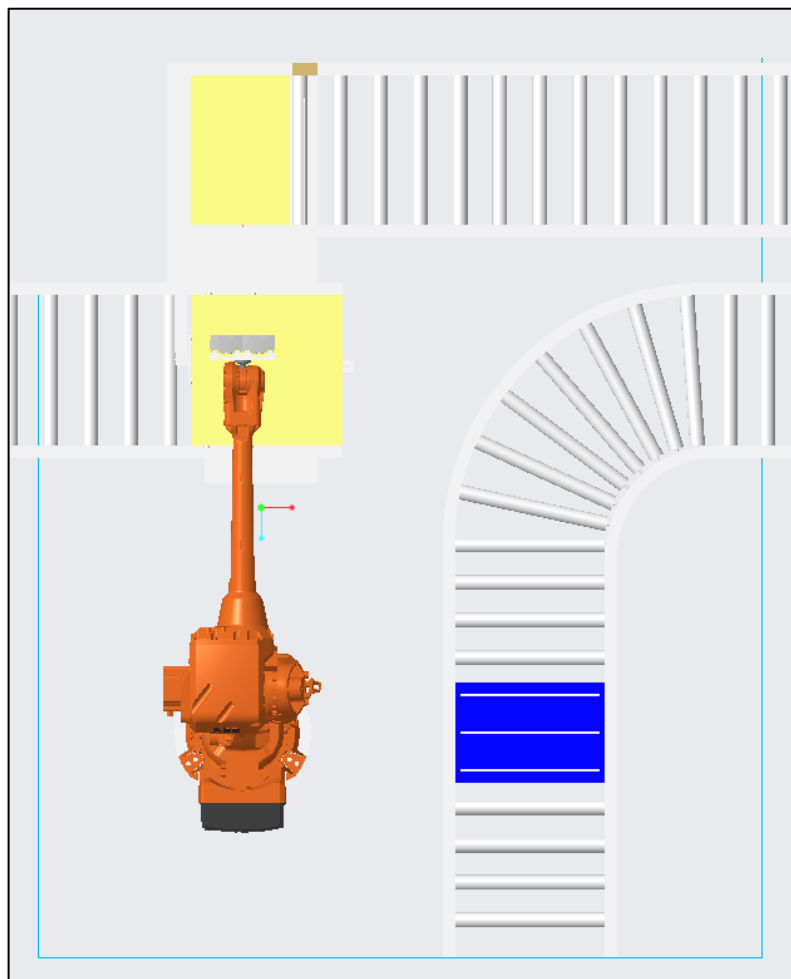
Obr. 32 Vyznačení ochranného plotu 200 mm

Tab. 36 Parametry oplocení Haberkorn X-Guard [12]

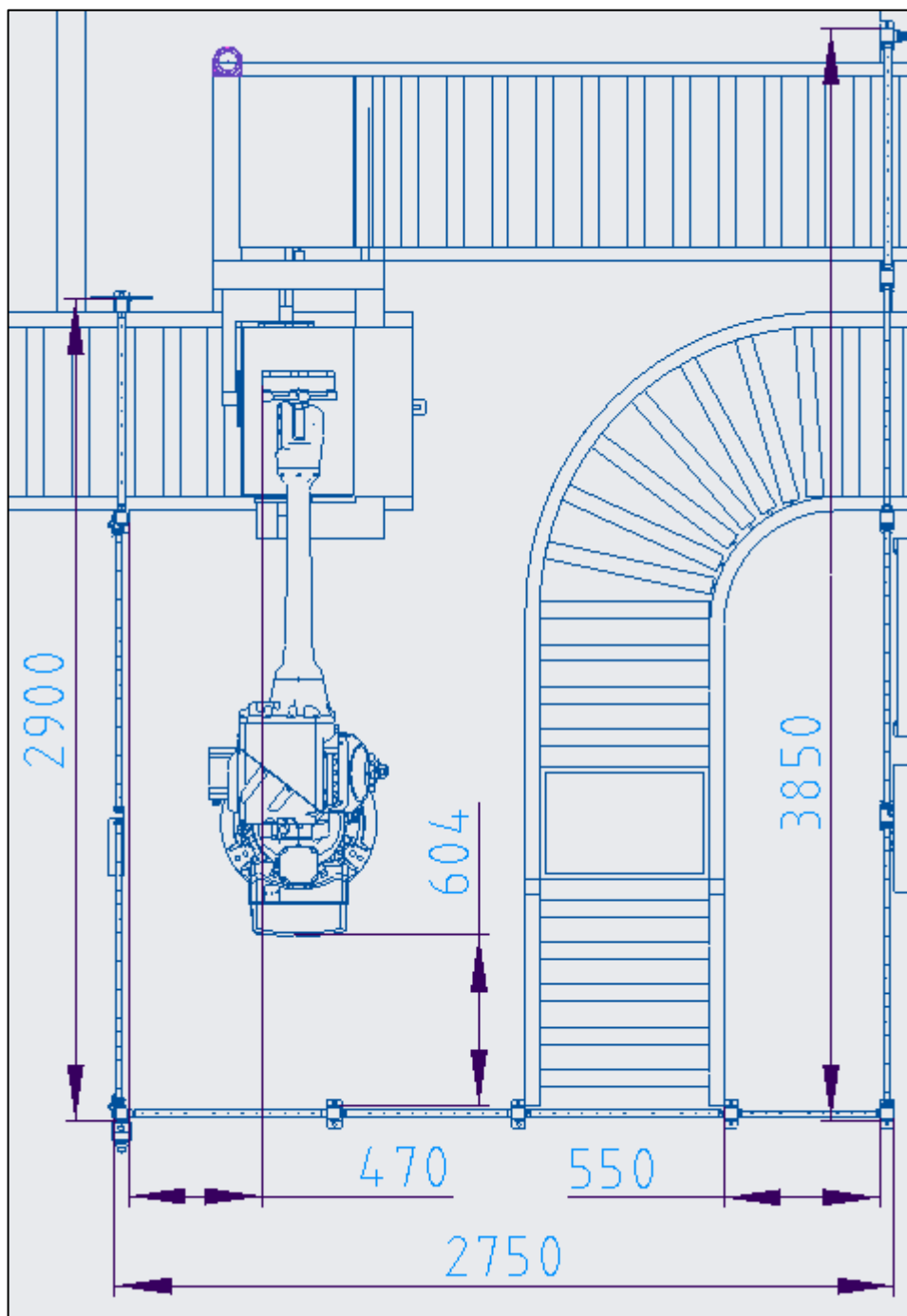
Parametr	Hodnota
Velikost ok	50x30 mm
Bezpečnostní vzdálenost	200 mm
Průřez rámu panelu ve svislém / vodorovném směru	30x20 mm / 25x15 mm
Průměr drátu ve svislém / vodorovném směru	3 mm / 2,5 mm
Rozměr sloupku	50x50 mm
Výška sloupku	2300 mm
Mezera panelu od podlahy	100 mm
Povrchová úprava	Fosfátování
Barva pletiva	Černá RAL 9011
Barva sloupků	Žlutá RAL 1018

Kvůli údržbě a zasekávání přepravky na dopravku, bylo vhodné zvětšit vzdálenost oplocení v některých místech alespoň na 500 mm. (Obr. 33) S tímto souvisí i přístup do pracoviště, který je zajištěn pomocí dvoukřídlých dveří na pantech s celkovou šířkou 2000 mm.

Výrobce poskytuje řadu několika rozměrů, ze kterých je nutné vybrat, proto byl zvolen nejbližší vyšší rozměr šířky. Na obrázku níže jsou zobrazeny rozměry a vzdálenosti oplocení (Obr. 34).



Obr. 33 vyznačení ochranného plotu 500 mm



Obr. 34 Rozměry a vzdálenosti oplocení

6.2 Zámek dveří

Dveře budou vybaveny zámkem proti neoprávněnému otevření. Byl zvolen dvevní systém Euchner MGB – PN (Obr. 35) v provedení L1HB, to znamená že západka zámku je ovládaná pružinou, při přivedení napětí na solenoid je možné dveře otevřít. Tento dvevní systém komunikuje s řídicím systémem Simatic pomocí rozhraní Profinet. Odemčení nebo

uzamčení dveří je zajišťováno RFID čtečkou přímo integrovanou v modulu systému se zámek. [13]



Obr. 35 Dvevní systém Euchner MGB – PN

Dveře tedy budou odemčeny po přiložení RFID čipu ke čtečce, po ukončení práce v buňce je nutno použít stejný RFID čip, jako byl použit pro odemčení.

Dvevní systém bude dále vybaven vnitřní únikovým modulem MGB-E a ovládacími tlačítky pro odemčení nebo uzamčení zámku a potvrzovacího tlačítka pro restart běhu systému pracoviště.

6.3 Laserový skener

Pro zabezpečení čtvrté strany pracoviště byl použit laserový snímač. Konkrétně od firmy Sick S300 Mini standard. Chrání oblast od nebezpečného místa, čímž je v tomto případě pohybující se efektor robota. S bezpečnostními moduly PLC Simatic komunikují stejně jako zámek dveří přes sběrnici Profinet. Parametry tohoto snímače jsou uvedeny v následující tabulce (Tab. 37).

Tab. 37 Parametry Sick S 300 Mini standard [14]

Parametr	Hodnota
Dosah ochranného pole	3 m
Počet polí	3
Úhel snímání	270°
Rozlišení (konfigurovatelné)	30, 40, 50, 70, 150 mm
Úhlové rozlišení	0,5°
Připojení	8 pinový konektor M12
Rozhraní	RS - 232
Napětí	24 VDC
Odebíraný proud	$\leq 0,25$
Rozměry	102 x 116 x 105 mm
Hmotnost	0,8 kg
Materiál pouzdra / optiky	Hliníkový tlakový odlitek / polykarbonát
Krytí	IP65
Provozní teplota	-10 ÷ 50°C
Druh světla	Pulzní laserová dioda
Vlnová délka	905 nm

U laserového skeneru musí být vypočtena vzdálenost, kterou má skener detekovat. Pro tento výpočet jsem využil manuálu k vybranému laserovému skeneru [15]. Nejdříve je potřeba zvolit několik hodnot. Bylo zvoleno rozlišení skeneru $d = 50$ mm z tabulky (Tab. 37). Rychlost přiblížení je daná normou EN ISO 13855 a má hodnotu $K = 1600$ mm/s. Společně s dalšími hodnotami jsou zapasány do tabulky (Tab. 38).

Tab. 38 Hodnoty pro bezpečnou vzdálenost laserového skeneru

Parametr	Označení	Hodnota
Rozlišení laserového skeneru	d	50 mm
Rychlost přiblížení	K	1600 mm/s
Doba zastavení/doběhu stroje	T_M	230 ms
Všeobecný bezpečnostní doplněk S300 mini	Z_G	100 mm
Doplněk chyby měření týkající se odrazu	Z_R	neuvažováno

Dále je potřeba vypočítat další hodnoty. Nejdříve bude vypočtena hodnota pro minimální vzdálenost C dle vzorce (6.1), kde hodnota 1200 je základní minimální vzdálenost a H_D je instalovaná výška laserového skeneru od podlahy ta činí v našem případě

$$C = 1200 - (0,4 * H_D) \quad (6.1)$$

$$C = 1200 - (0,4 * 300) = 1080 \text{ mm}$$

Druhou hodnotou potřebnou pro výpočet bezpečné vzdálenosti je hodnota T_S . Tato hodnota určuje dobu odezvy laserového skeneru a vyhodnocovacího PLC, a je daná následující rovnicí (6.2). V této rovnici t_b značí základní dobu odezvy laserového snímače, která činí 80 ms. Hodnota T_{MFA} je doplňková hodnota pro odezvu při vícenásobném vyhodnocení v tomto případě 2-krát, což je základní nastavení laserového snímače. Proto je tato hodnota 0 ms. Hodnota T_{EFIO} je hodnota odezvy PLC, která pro bezpečnostní moduly PLC Siemens Simatic S7 je 5 ms.

$$T_S = t_b + T_{MFA} + T_{EFIO} \quad (6.2)$$

$$T_S = 80 + 0 + 5 = 85 \text{ ms}$$

Nyní již lze vypočítat bezpečnou vzdálenost pro laserový snímač dle následující rovnice (6.3).

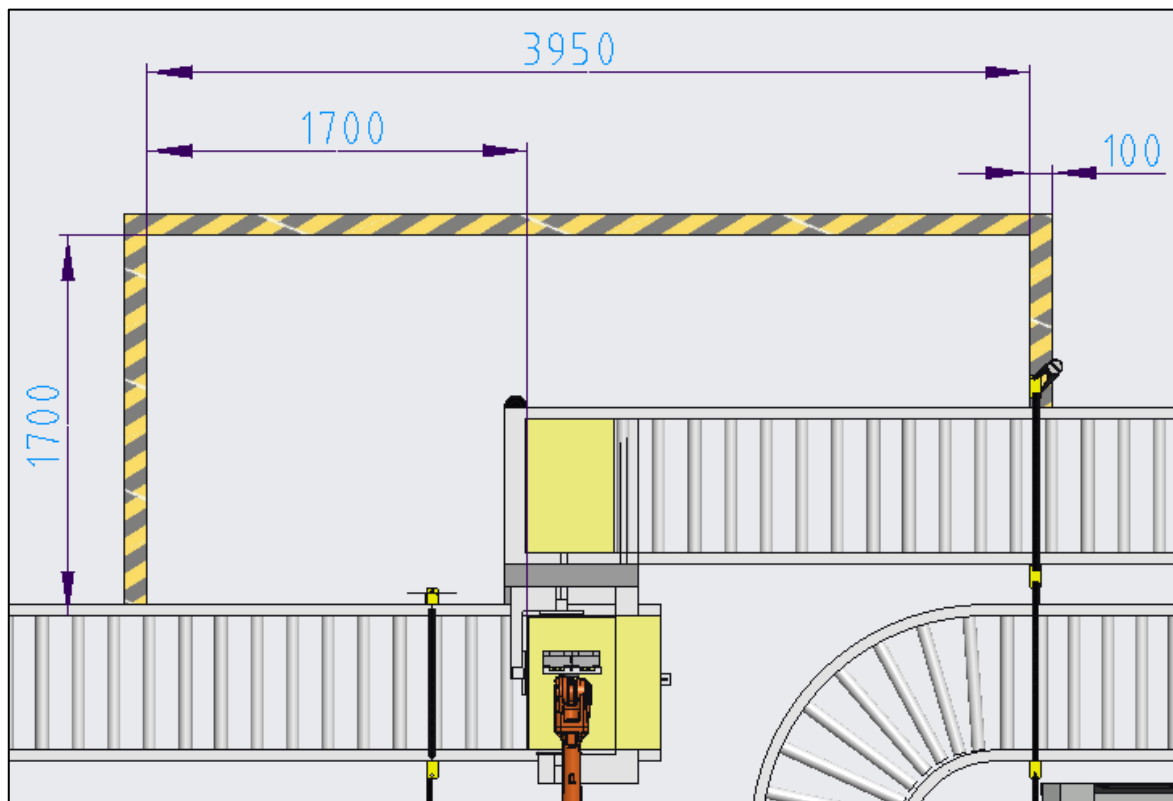
$$S = (K * (T_M + T_S)) + Z_G + Z_R + C \quad (6.3)$$

$$S = (1600 * (0,230 + 0,085)) + 100 + 0 + 1080 = 1684 \text{ mm}$$

Bezpečnostní vzdálenost laserového snímače je zvolena 1700 mm. Vzdálenost je navržena od nebezpečného místa což je v tomto případě efektor robotu. Ten se pohybuje

uvnitř kartonové krabice, proto je vzdálenost odměřována od krabice umístěné v manipulátoru a poloze otevření.

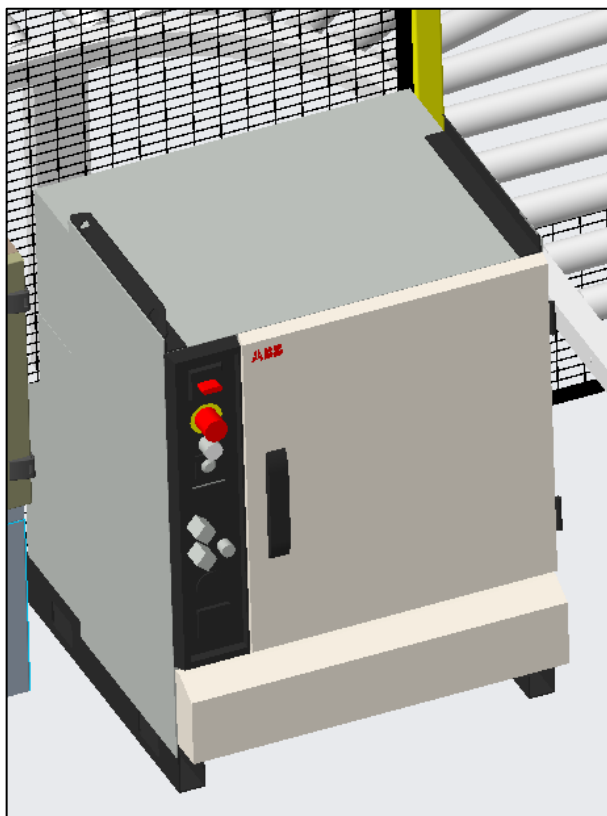
Základní vzdálenosti pro laserový snímač jsou vyobrazeny na obrázku (Obr. 36). Oblast snímaná skenerem je v pracovišti vyznačena na zemi žluto-černou páskou.



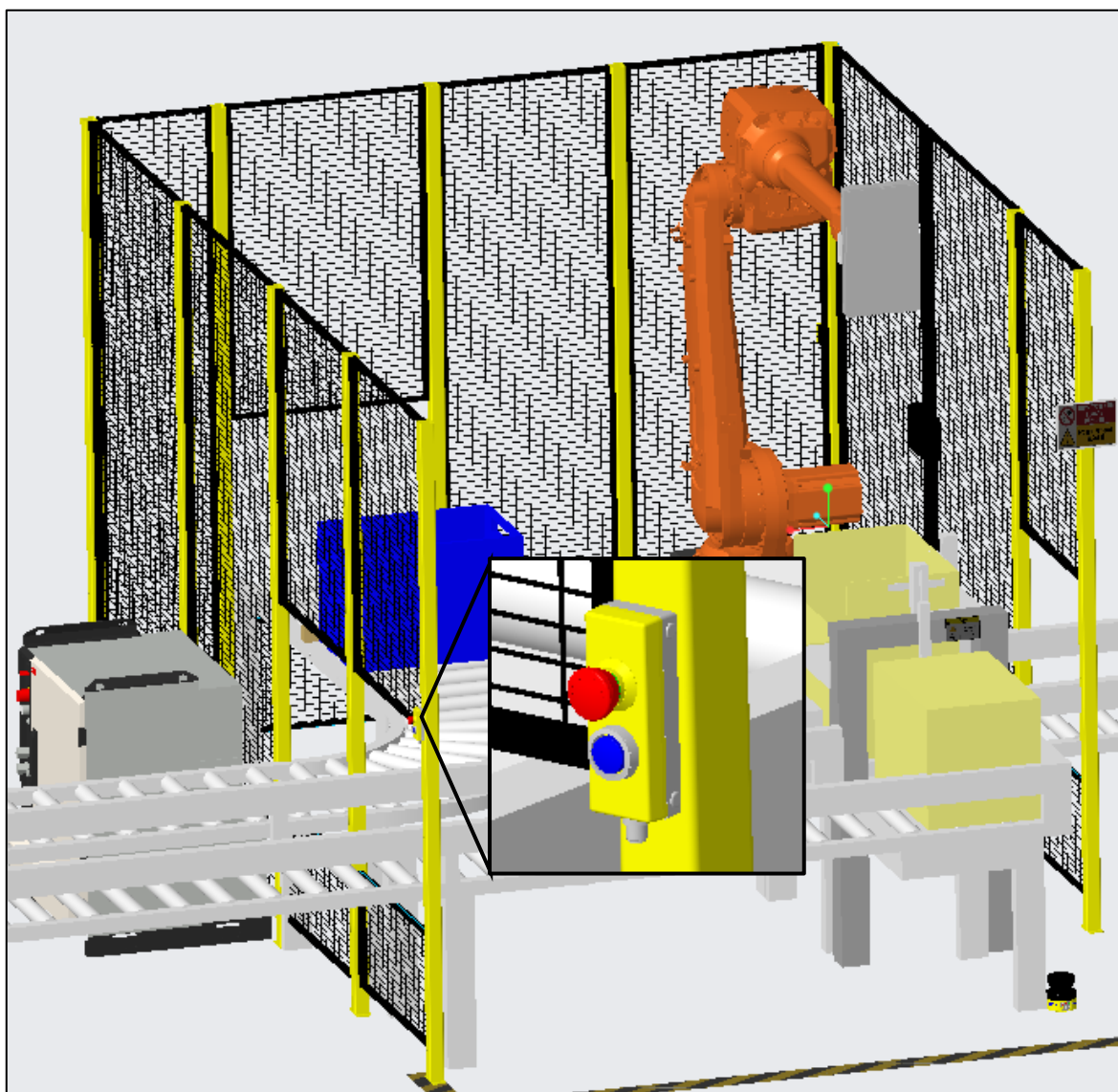
Obr. 36 Bezpečnostní vzdálenost laserového snímače

6.4 Stop tlačítka

V pracovišti jsou umístěná tři nouzová tlačítka. Stop tlačítka slouží k zastavení robota, manipulátorů a dopravníku pouze v případě přímého ohrožení lidského zdraví nebo možnosti poškození zařízení buňky. První stop tlačítko je umístěno na Single cabinetu řídicího systému robota (Obr. 37). Druhé je součástí ovládacího panelu Sick ES11-SC4D8 sestávajícího ze nouzového a resetovacího tlačítka. Tento panel je umístěn na krajním sloupu ochranného oplocení (Obr. 38).

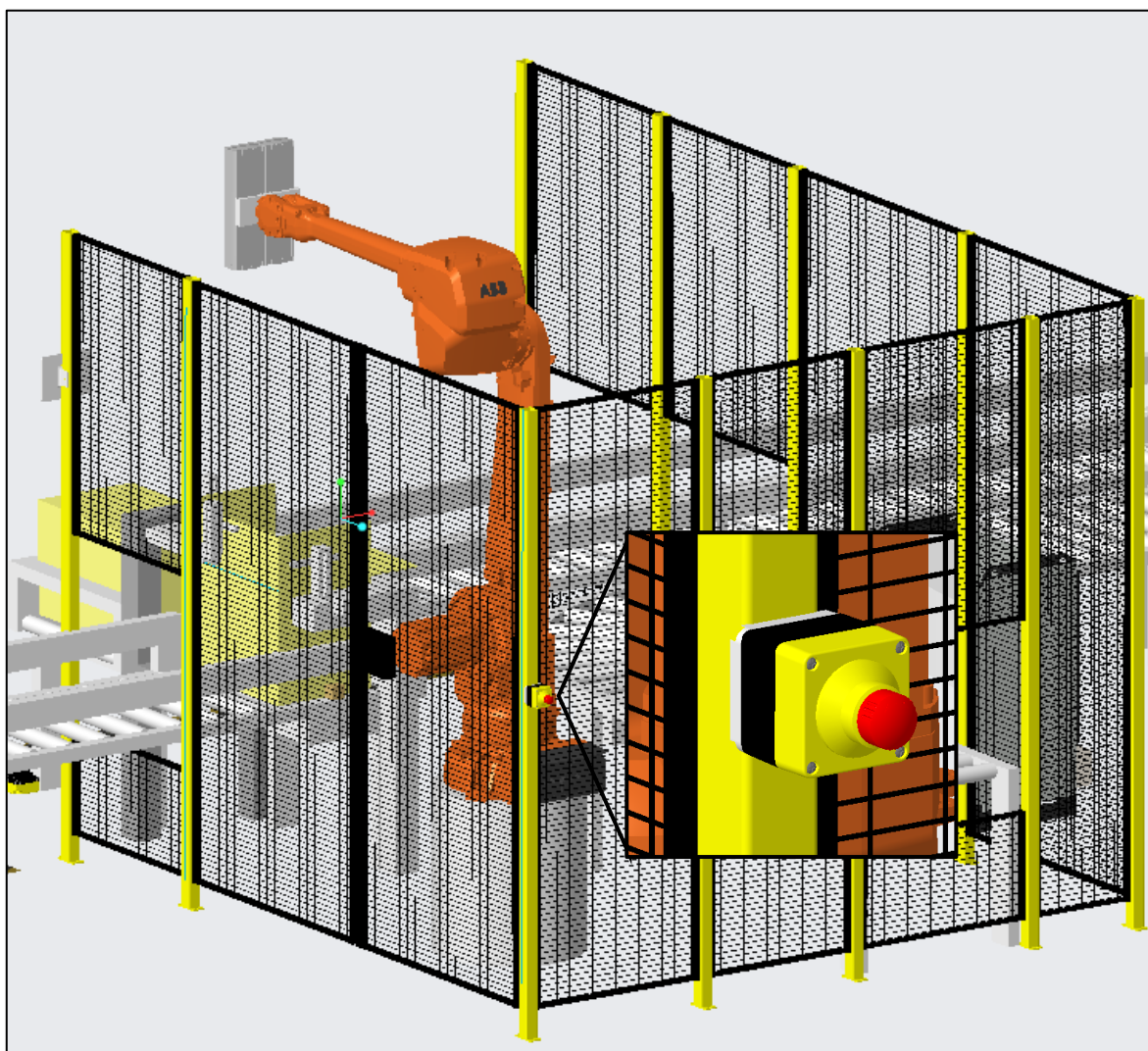


Obr. 37 Stop tlačítko single cabinet



Obr. 38 Umístění nouzového/reset tlačítka

Třetí tlačítko je umístěno na zadní straně buňky u dveří (Obr. 39). Bylo vybráno tlačítko Sick ES21-SA10E1.



Obr. 39 Umístění nouzového tlačítka – oplocení

6.5 Výstražné a upozorňující tabulky

Při zaseknutí krabice v místě s manipulátorem pro řezání pásky, je potřeba aby obsluha krabici vyprostila. Při této manipulaci může dojít k poranění prstů nebo ruky o břit manipulátoru. Obsluha je upozorněna na tuto skutečnost tabulkou umístěnou v oblasti manipulátoru pro řezání pásky, jak je vyobrazeno na obrázku níže (Obr. 40).



Obr. 40 Varování – nebezpečí pořezání břitem

Další tabulka je umístěna na sloupku oplocení (Obr. 41) a upozorňuje na skutečnost, že v pracovišti jsou umístěna elektrická zařízení a z toho vznikající zákaz hašení tohoto pracoviště vodou nebo pěnovými hasícími přístroji.



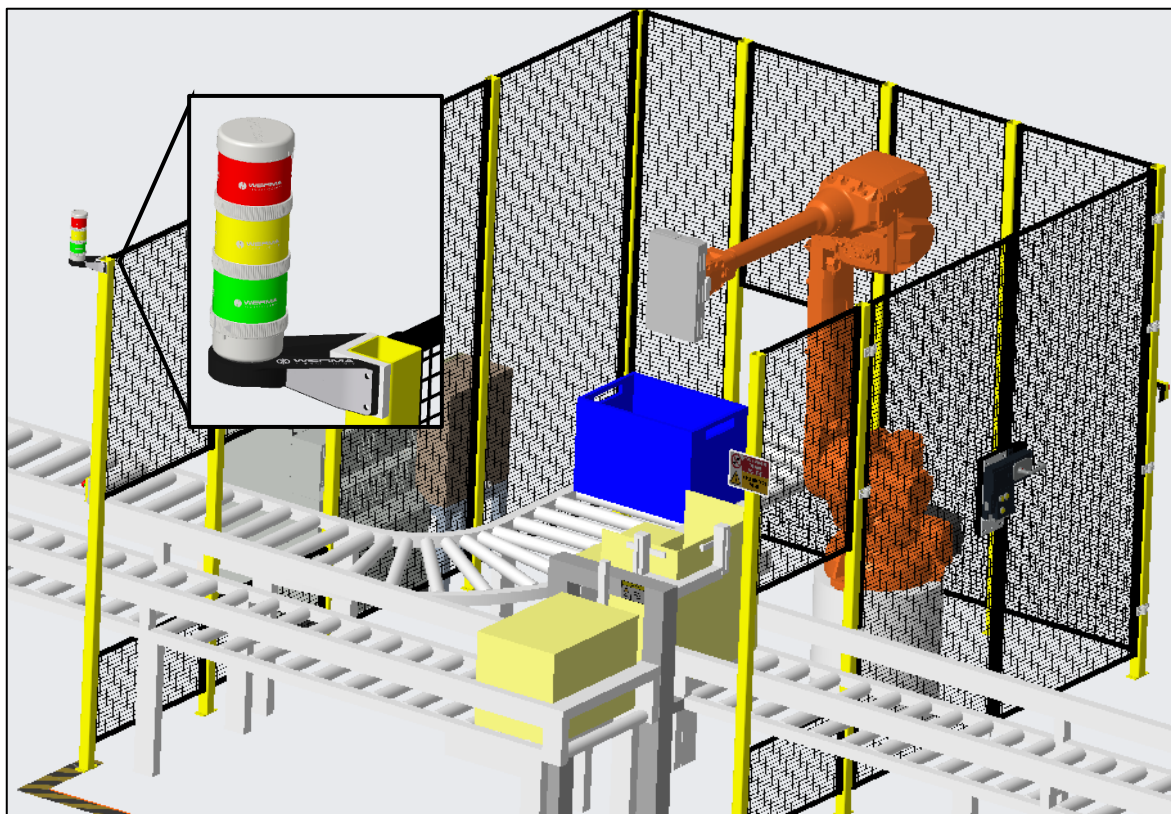
Obr. 41 Varování – elektrické zařízení a hašení

6.6 Signalizační zařízení

Aby bylo snadněji rozpoznatelné, co se v pracovišti děje, je v pracovišti umístěna signální věž (Obr. 42) se třemi barvami. Byla vybrána modulární signální věž Werma Sign 72. Tuto signální věž lze nakonfigurovat dle přání zákazníka. Byly vybrány tři barvy optických prvků zelený s nepřerušovaným světlem, žlutým a červeným s blikajícím světlem. Význam světel je popsán v tabulce (Tab. 39).

Tab. 39 Význam optických prvků

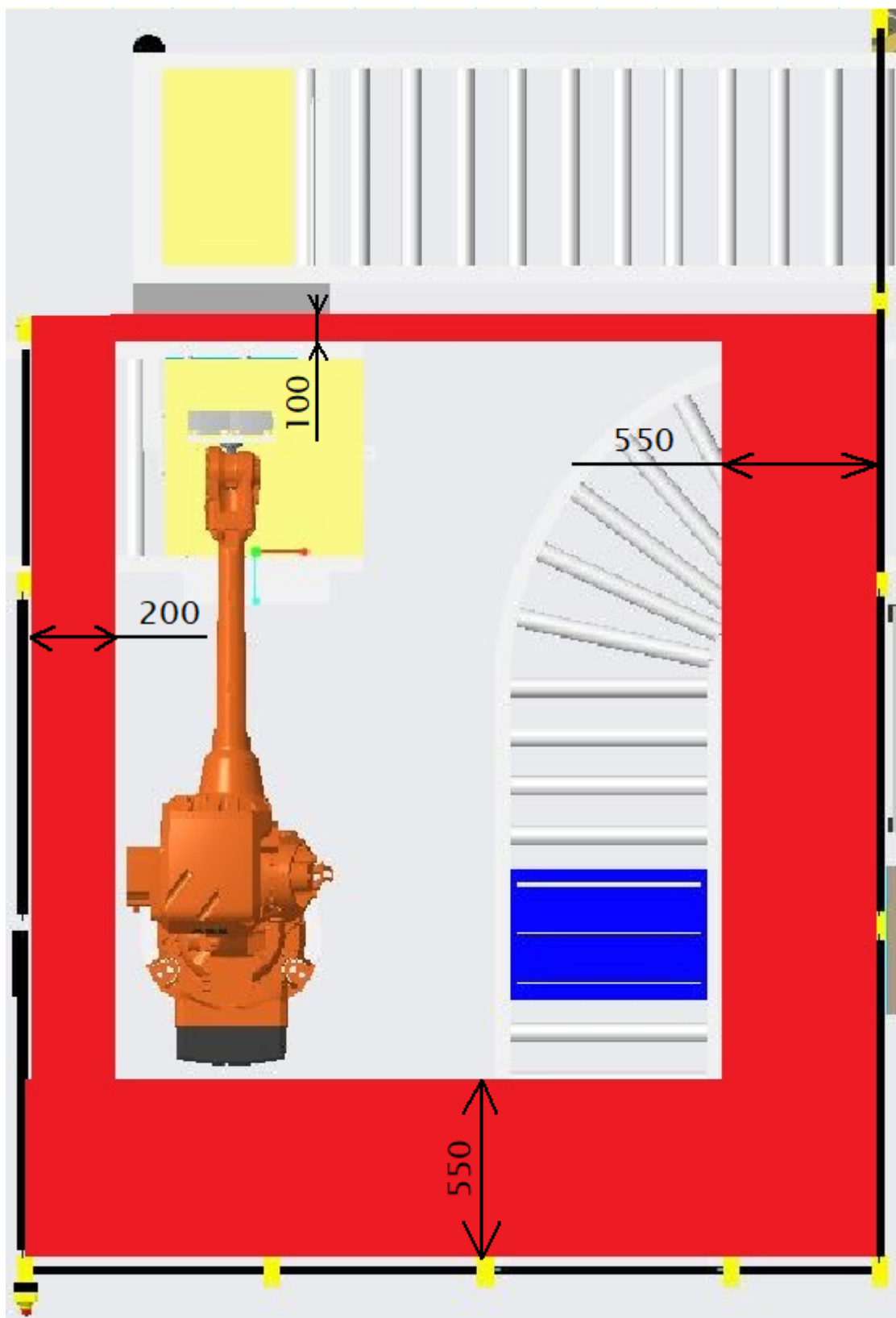
Barva	Světlo	Význam
Zelená	Nepřerušované	Zařízení pracoviště pracují správně
Žlutá	Blikající	Pracoviště je zastaveno, z důvodu chyby
Červená	Blikající	Jsou narušeny bezpečnostní prvky (zóna skeneru, otevřené dveře)



Obr. 42 Umístění signální věže

6.7 Safemove

Aby byl robot bezpečný vůči pracovišti a ochránili se periferní a ochranné prvky pracoviště. Je robot vybaven systémem Safemove. Tento systém posílá robotu informace o aktuální poloze a pokud se robot blíží k zakázané zóně, předem o tomto informuje a robota zpomalí. Na obrázku níže jsou zobrazeny červenou barvou zóny kam robot nemůže (Obr. 43).



Obr. 43 Definice Safemove

7 Údržba bezpečnostních prvků a snímačů

V této kapitole je navržen způsob údržby bezpečnostních prvků pracoviště a snímačů na dopravnících.

Při údržbě všech bezpečnostních zařízení pracoviště a snímačů je vhodné zkontrolovat mechanické poškození zařízení.

7.1 Údržba bezpečnostního oplocení a zámku

Bezpečnostní oplocení nevyžaduje speciální údržbu. Údržba se zaměřuje zejména na dveře s elektronickým zámekem. U zámku se kontroluje jeho funkčnost, tak že se otevrou dveře a zkontroluje se varovná hláška na flexpendantu. Dále se zkontroluje funkčnost všech tlačítek na ovládacím panelu zámku. Tato kontrola bude probíhat 1/rok.

7.2 Údržba laserového snímače

U laserového snímače je potřeba dbát na čistotu krycího skla snímače. Je třeba jej očistit alespoň 2/rok. Pro očištění použijte suchou utěrkou z mikrovlákná.

7.3 Údržba stop tlačítek

Při údržbě stop tlačítek je třeba se zaměřit zejména na jejich funkčnost. Funkčnost stop tlačítek se bude kontrolovat 1/rok.

7.4 Údržba snímačů

Stejně jako u laserového snímače je potřeba se zaměřit na čistotu sklíček IR snímačů. Navržená údržba těchto sklíček je stejná jako u laserového snímače.

8 Závěr

V diplomové práci je vysvětleno, jak postupovat při návrhu nebo integraci nového zařízení automatizovaného pracoviště. Nejdříve jsou popsány základní normy a směrnice postupu, který je systematicky řazen, tak aby bylo snadné se jím řídit a navrhnout pracoviště s co nejlepší bezpečností. V první kapitole jsou také uvedeny normy pro bezpečnostní prvky.

Práce pokračuje základním rozdělením bezpečnostních prvků pro automatizovaná pracoviště. Jednotlivé podkapitoly obsahují popis bezpečnostních prvků a popis, jak je správně použít.

Dále je navrženo a popsáno pracoviště na které se jsou aplikovány požadavky na bezpečnost vycházející z norem, směrnic a zejména analýzy rizik. Pro provedení analýzy rizik je nutné znát prvky pracoviště, jaké operace se na pracovišti provádí a v jakém časovém sledu.

Poté následuje popis analýzy rizik. V této kapitole je uveden postup analýzy rizik a některé její metody. Poté již bylo možné aplikovat postup na navržené pracoviště. Pro navržené pracoviště jsou použity tři metody analýzy rizik, které jsou následně porovnány a zvolena metoda na základě, které je pracoviště zabezpečeno. Z tohoto postupu vyplývá, že nejvhodnější metodou pro začínající pracovníky v této oblasti je použití programu Safexpert založeného na metodě check-list. Tato metoda se ukázala jako velmi jednoduchá a rychlá.

Na základě výsledku analýzy rizik je pracoviště zabezpečeno, tak aby bylo riziko odstraněno nebo sníženo na minimum. V případě tohoto pracoviště jsou všechna nalezena rizika odstraněna a nová rizika nevznikají. Pro bezpečnostní oplocení a laserový snímač je vypočtená bezpečnostní vzdálenost. Všechny tyto bezpečnostní prvky jsou aplikovány a zkonstruovány v modelu.

Posledním krokem je návrh údržby bezpečnostních prvků a snímačů kartonové krabice, nebo plastové bedny čili prvků, které k bezpečnosti přispívají.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Jánů Babjakovi, Ph.D. za věcné připomínky, rady a doporučení, kterými přispěl ke vzniku této diplomové práce. Poděkování patří i mé rodině, která mně podporovala po celou dobu mého studia.

Seznam použité literatury

- [1] VOJÁČEK, Antonín. *Bezpečnost strojů - 2. díl - PL vs. SIL* [online]. 23. Listopad 2015 [cit. 2018-10-9]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-2-dil-pl-vs-sil.html>
- [2] *Automa: Bezpečnost kolaborativních robotů* [online]. Děčín: SEND, 2017, **2017**(8-9) [cit. 2018-10-16]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/11040.pdf
- [3] *Bezpečnostní prvky pro strojní zařízení* [online]. Praha, 2010 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/sk/download/e1302dff-3930-0d54-8591-6454f3f662e0>
- [4] ČSN EN ISO 13857. Bezpečnost strojních zařízení: Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami. Praha, 2008.
- [5] *ABB: Technická data pro IRB 4600* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-4600/irb-4600-technicka-data>
- [6] *ABB: Technická data pro IRC5* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/ridici-systemy/irc5/irc5-technicka-data>
- [7] *Schmalz: Vacuum gripping system* [online]. Glatten, 2018 [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/area-gripping-systems-and-end-effectors/vacuum-area-gripping-system-fxp-fmp/vacuum-area-gripping-system-fxp/10.01.38.00685>
- [8] ČERMÁK, Miroslav. Analýza rizik: Jemný úvod do analýzy rizik. *Clever and smart* [online]. Ostrava, 20.05.2010 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://www.cleverandsmart.cz/analyza-rizik-jemny-uvod-do-analyzy-rizik/>
- [9] ČERMÁK, Miroslav. Analýza rizik: kvantitativní vs. kvalitativní. *Clever and smart* [online]. Ostrava, 25.07.2010 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://www.cleverandsmart.cz/analyza-rizik-quantitativni-vs-kvalitativni/>
- [10] KOUDELKA, Ctirad a Václav VRÁNA. Rizika a jejich analýza. *Katedra elektrotechniky* [online]. Ostrava, 2006, 09.2006 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/web/RIZIKA.pdf>
- [11] Metody hodnocení rizik. *BOZPinfo* [online]. Praha, 09.01.2012 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/metody-hodnoceni-rizik>
- [12] *Haberkorn: Ocelová ochranná oplocení* [online]. Mokré Lazce, 2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/download/detail/67/1/>
- [13] *Euchner: Dveřní systém MGB - Profinet* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-systemy/mgb-pn/>

-
- [14] *Sick: S300 Mini Standard* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/bezpecnostni-laserove-skenery/s300-mini-standard/s32b-3011ba/p/p295744>
- [15] *S300 Mini: Operating instruction* [online]. Waldkirch, 2016 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: https://www.sick.com/media/docs/6/26/526/Operating_instructions_S300_Mini_Safety_laser_scanner_en_IM0040526.PDF

Přílohy

Příloha A: CD médium

Příloha B: Analýza rizik – Safexpert – Analýza_rizik_DP_Dziak.pdf

Příloha C: Příručka Sick – Bezpečné stroje.pdf

Příloha D: Sestava zabezpečené pracoviště – výkres 2019/A2/1